

**ILMANSAASTEALTISTUKSEN
ANALYYSI SUOMESSA**

Antti Korhonen
Pro gradu –tutkielma
Ympäristötiede
Itä-Suomen yliopisto, ympäristö- ja biotieteiden laitos
Syyskuu 2017

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta
Ympäristötiede
Antti Korhonen: Ilmansaastealtistuksen analyysi Suomessa
Pro Gradu -tutkielma 67 sivua, 3 liitettä (23 sivua)
Tutkielman ohjaajat: Otto Hänninen, Jarkko Tissari
Syyskuu 2017

ilmansaasteet, pienhiukkaset, altistuminen, aikasarja, lähde-erittely, kaukokulkeuma

TIIVISTELMÄ

Ilmansaasteiden, erityisesti pienhiukkasten, tiedetään aiheuttavan terveyshaittoja ihmisille. Suomessa eriasteisin rajoituksin säänneltyjä ilmansaasteita on 15, joista sitovimmat ilmanlaatu-
normit ovat Euroopan Unionin terveyshaittojen ehkäisemiseksi säädettyt raja-arvot. Suomessa raja-arvot ylittyvät vain harvoin, mutta jo pienemmilläkin pitoisuuksilla arvioidaan olevan merkittäviä vaikutuksia ihmisten terveyteen. Ilmansaasteiden terveysvaikutusten arviointia ja vähentämistoimenpiteitä varten tarvitaan tietoa ilmansaasteiden altistustasoista ja lähteistä, joista ne ovat peräisin.

Tässä työssä määritettiin väestöpainotetut ulkoilmapitoisuudet pienhiukkasten ($PM_{2.5}$), hengitettävien hiukkasten (PM_{10}), typpidioksidin (NO_2) ja rikkidioksidin (SO_2) kotimaisille lähteille sekä kaukokulkeumalle ilmanlaadun mittausverkoston vuoden 2013 aineistosta (103 asemaa 52 paikkakunnalla; joista maaseututausta-asemia oli 13).

Väestöpainotetut pitoisuudet jaettuna paikalliseen, alueelliseen, ja kaukokulkeumakomponenttiin laskettiin käyttäen allokaatiomallia jakaen väestö ja mittausasemat i) pääkaupunkiseutuun, ii) muihin kaupunkeihin, sekä iii) maaseutuun. Jaolla pyrittiin karkeasti kuvaamaan paikallisesti ja alueellisesti syntyvien päästöjen (esim. liikenne, pienpoltto, energiantuotanto) määrää kuntien väestömäärän perusteella.

Asemakohtaisessa tarkastelussa kokonaispitoisuus jaettiin paikallisiin ja alueellisiin lähteisiin sekä kaukokulkeumaan tarkastelemalla asemien aikasarjoja. Paikallisista lähteistä peräisin olevaksi pitoisuudeksi katsottiin vuoden 2013 tuntidatasta lasketun viikkotuntiprofiilin vaihtelua. Alueelliset päästöt laskettiin vähentämällä tästä maaseutuasemien avulla arvioitu taustapitoisuus, joka edustaa kaukokulkeumaa. Kaukokulkeuma määritettiin kuntakohtaisesti valitsemalla maaseututausta-asetat idästä ja lännestä sekä etelästä ja pohjoisesta kuvaamaan kaukokulkeuman pitoisuuden vaihtelua etelä-pohjoissuunnassa sekä itä-länsisuunnassa.

Pienhiukkasten osalta väestöpainotetusta pitoisuudesta ($6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) arviolta 30 % ($2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli vuonna 2013 peräisin paikallisista lähteistä, 15 % ($1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alueellisista lähteistä ja 55 % ($3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kaukokulkeumasta. Korkeimmat $PM_{2.5}$ -pitoisuudet esiintyivät liikenneympäristöissä ja pitoisuudet kohoavat korkeiksi myös ympäristöissä, joissa puunpolto on merkittävää. Todennäköisesti nämä ovat myös merkittävimpiä paikalliseen ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä Suomessa.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Science and Forestry
Environmental Science
Antti Korhonen: Analysis of Air Pollution Exposure in Finland
MSc. Thesis, 67 pp., 3 appendices (23 pp.)
Supervisors: Otto Hänninen, Jarkko Tissari
September 2017

air pollution, fine particles, exposure, time series, source apportionment, long-range transport

ABSTRACT

Air pollutants, especially fine particles, are known to cause adverse health effects. In Finland 15 air pollutants are regulated by law. The European Union's limit values are the most binding air quality standards and they are set to reduce the health impact of air pollution. Limit values are rarely exceeded, but adverse health effects can occur even at concentrations lower than the limit values. Data on air pollution exposure levels and air pollutant sources are needed in health impact assessment studies and in planning of abatement strategies.

In this thesis population weighted concentrations of domestic (local and regional) sources and long-range transport were estimated for fine particles ($PM_{2.5}$), breathable particles (PM_{10}), nitrogen dioxide (NO_2) and sulphur dioxide (SO_2). In 2013 there were 103 air quality measurement stations in 52 municipalities of which 13 were rural background stations.

Population weighted concentrations were divided in local and regional sources and long-range transport. They were estimated by using allocation model in which population and measurement stations were divided into i) Capital Region ii) other towns and iii) countryside. Allocation model was used for model emissions which were originated from domestic sources.

In station specific analysis total concentrations of air pollutants were divided into local and regional sources and long-range transport by analyzing stations time series. Concentrations originated from local sources were assumed to be causing the variation in weekly profile with hourly resolution that was calculated using data collected in 2013. Regional concentrations were calculated by subtracting local concentration from long-range transport. Long-range transport concentrations were estimated for every municipality by choosing rural background stations from the East and the West and from the South and the North to model spatial variation of long-range transport concentrations.

It was estimated that about 30 % ($2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) of population weighted concentration of fine particles ($6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were originated from local sources, 15 % ($1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) from regional sources and about 55 % ($3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) from long-range transport in 2013. Typically the highest $PM_{2.5}$ concentrations are measured in traffic environments or in environments where small-scale wood combustion is significant. Those two sources are possibly the major sources affecting the local air quality in Finland.

ESIPUHE

Opinnäytetyö oli osa Ympäristöministeriön sekä Sosiaali- ja Terveysministeriön rahoittamaa Ilmansaasteiden terveysvaikutukset –projektia (ISTE), joka toteutettiin Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksella vuosina 2015-2016. Työssä arvioitiin ilmansaasteiden altistustasot ja terveysvaikutukset 14 ilmansaasteelle vuoden 2013 tasolla. Tämä Pro gradu –tutkielma laadittiin vuosien 2016-2017 aikana.

Haluan erityisesti kiittää Otto Hännistä työn aikaisesta ohjauksesta ja neuvoista. Kiitokset työn toiselle ohjaajalle Jarkko Tissarille sekä työn toiselle tarkastajalle Jani Leskiselle. Haluan kiittää myös ISTE –työryhmää Heli Lehtomäkeä, Isabell Rumrichia ja Arja Asikaista sekä ystäviä ja sukulaisia, jotka ovat olleet tukenani opintojeni aikana.

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

APCS	Ilmansaasteiden lähde-erittelyssä käytetty reseptorimalli <i>Absolute Principal Component Scores</i>
AMAP	Ohjelma, joka keskittyy arktisten alueiden ympäristön tilan seurantaan <i>Arctic Monitoring and Assessment Programme</i>
CAR-FMI	Tieliikenteen päästöjen leviämismalli, <i>Contaminants in the Air from a Road</i>
CI	Luottamusväli, <i>Confidence Interval</i>
CMB	Lähde-erittelyyn käytetty reseptorimalli, <i>Chemical Mass Balance</i>
CSV	Taulukkopohjainen tekstitiedosto, <i>Comma-Separated Values</i>
EEA	Euroopan ympäristökeskus, <i>European Environment Agency</i>
EMEP	Ohjelma, jossa tutkitaan ilmansaasteiden kaukokulkeutumista <i>European Monitoring and Evaluation Programme</i>
EU	Euroopan unioni
FA	Faktorianalyysi, lähde-erittelyyn käytetty tilastollinen menetelmä <i>Factor Analysis</i>
GAW	Ohjelma, jossa tutkitaan maailmanlaajuisesti ilmakehän kemiallista koostumusta ja fysikaalisia ominaisuuksia, <i>Global Atmosphere Watch</i>
HELCOM	Ohjelma, jossa selvitetään Itämeren tilaa, <i>Helsinki Commission</i>
HSY	Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut
ISTE	Ilmansaasteiden terveysvaikutukset –hanke
ME	Ilmansaasteiden lähde-erittelyssä käytetty reseptorimalli, <i>Multilinear Engine</i>
MLR	Ilmansaasteiden lähde-erittelyssä käytetty reseptorimalli <i>Multiple Linear Regression</i>
MPP-FMI	Meteorologista aineistoa käsittelevä malli, <i>Meteorological Preprocessing Model</i>
PCA	Pääkomponenttianalyysi, <i>Principal Component Analysis</i>
PDF	Tiedostomuoto, <i>Portable Document Format</i>
PMF	Ilmansaasteiden lähde-erittelyssä käytetty reseptorimalli <i>Positive Matrix Factorization</i>
PWC	Väestöpainotettu pitoisuus, <i>Population Weighted Concentration</i>
SD	Keskihajonta, <i>Standard Deviation</i>
SE	Keskivirhe, <i>Standard Error</i>
SILAM	Alueellisen tason leviämismalli <i>System for Integrated modeLLing of Atmospheric composition</i>

UDM-FMI Kaupunkialueen päästöjen leviämismalli, *Urban Dispersion Modelling system*
WHO Maailman terveysjärjestö, *World Health Organization*

ILMANSAASTEET

As	Arseeni
B(a)P	Bentso(a)pyreeni
C ₆ H ₆	Bentseeni
Cd	Kadmium
CO	Hiilimonoksidi
NH ₃	Ammoniakki
Ni	Nikkeli
NMVOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet pl. metaani <i>Non-Methane Volatile Organic Compounds</i>
NO	Typpimonoksidi
NO _x	Typhen oksidit
NO ₂	Typpidioksidi
O ₃	Otsoni
Pb	Lyijy
PM ₁₀	Hengitettävät hiukkaset
PM _{2.5}	Pienhiukkaset
RO ₂	Peroksidiradikaali
SO ₂	Rikkidioksidi
TRS	Haisevat rikkiyhdisteet, <i>Total Reduced Sulfur</i>
VOC	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, <i>Volatile Organic Compounds</i>

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	9
2. KIRJALLISUUSKATSAUS.....	10
2.1. Ilmansaasteiden sääntely ja mittaaminen Suomessa	10
2.2. Väestön altistuminen ilmansaasteille	12
2.3. Päästölähteitä ja pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä	15
2.3.1. Ilmansaasteiden merkittävimmät lähteet	15
2.3.2. Ilmansaasteiden sekoittuminen, kulkeutuminen ja laimeneminen.....	18
2.3.3. Vuodenaikais- ja viikonpäivävaihtelun vaikutukset ilmansaasteiden pitoisuuksiin	19
2.4. Päästölähdeosuuksien arviointi	23
2.4.1. Reseptorimallit	23
2.4.2. Päästökartoitus ja leviämismallit.....	24
2.4.3. Asematyypivertailuihin ja aikasarja-analyysiin perustuvat menetelmät	24
2.5. Hiukkasten lähdeosuudet Suomessa.....	26
3. TYÖN TAVOITTEET	30
4. AINEISTO JA MENETELMÄT	31
4.1. Ilmanlaadun mittausverkosto vuonna 2013.....	31
4.1.1. Tausta-asemien mittaukset	32
4.2. Väestöpainotettujen pitoisuuksien arviointi	33
4.3. Altistusten jako lähdeosuuksiin.....	34
4.4. Paikallisen lähteen tunnistaminen valituilla asemilla.....	36
4.5. Paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman syntysijaintien arviointi ..	37
5. TULOKSET	38
5.1. Väestöpainotetut pitoisuusarviot	38
5.2. Altistusten lähdeosuudet	39
5.2.1. Pienhiukkasten alueellinen alkuperä	41

5.2.2. Hengitettävien hiukkasten alueellinen alkuperä.....	41
5.2.3. Typpidioksidin alueellinen alkuperä	42
5.2.4. Rikkidioksidin alueellinen alkuperä.....	42
5.3. Paikallisten lähteiden tunnistaminen valituilla asemilla	43
5.3.1. Puunpolttoympäristö (Tapanila, Helsinki)	44
5.3.2. Puunpoltto- ja liikenneympäristö (Vartiokylä Huivipolku, Helsinki).....	46
5.3.3. Liikenneympäristö (Kehä III Varisto, Vantaa)	48
5.3.4. Kaupunkitausta (Kallio 2, Helsinki).....	50
5.3.5. Maaseututausta (Luukki, Espoo).....	52
5.4. Paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman syntysijaintien arviointi ..	54
6. TULOSTEN TARKASTELO	56
6.1. Väestöpainotetut pitoisuudet	56
6.2. Altistusten jako lähdeosuuksiin.....	57
6.3. Paikallisten lähteiden tunnistaminen valituilla asemilla	59
6.4. Paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman syntysijaintien arviointi ..	60
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	61
8. LÄHDELUETTELO	63
LIITTEET.....	67
LIITE 1. Vuoden 2013 mittausasemat ja niillä mitatut komponentit sekä asematyyppikohtaiset pitoisuudet	
LIITE 2. Asemakohtaisella tarkastelulla lasketut lähdeosuudet	
LIITE 3. Ilmanlaadun mittausasemien viikko- ja vuosiprofiilien tuntikeskiarvot.....	

1. JOHDANTO

Ilmansaasteiden, erityisesti pienhiukkasten, tiedetään aiheuttavan terveyshaittoja ihmisille (Hänninen ym. 2016). Suomessa eriasteisin rajoituksin säänneltyjä ilmansaasteita on 14, joista sitovimmat ilmanlaatonormit ovat Euroopan Unionin (EU) terveyshaittojen ehkäisemiseksi säädetyt raja-arvot (Ilmanlaatuportaali 2016). Suomessa raja-arvot ylittyvät vain harvoin, mutta jo raja-arvoja pienemmillä pitoisuuksilla on vaikutuksia ihmisten terveyteen (Hänninen ym. 2016). Ilmansaasteiden terveysvaikutusten arviointia ja vähentämistoimenpiteiden suunnittelua varten tarvitaan tietoa ilmansaasteiden altistustasoista sekä siitä mistä lähteistä ne ovat peräisin.

Suomessa mitattiin vuonna 2013 ilmanlaatua pysyväisluonteisesti noin 50 paikkakunnalla ja 100 mittausasemalla, joiden ylläpitäjänä toimivat kunnat, Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), teollisuus ja Ilmatieteen laitos. Ilmanlaadun mittaustulokset ovat saatavilla Ilmanlaatuportaalista vuosilta 1985–2015 (Ilmanlaatuportaali 2016). Ilmanlaatatieto ilmanlaatuportaalista on ollut ladattavissa asemakohtaisesti tuntikeskiarvoina tekstimuodossa ilmanlaatu komponentteittain sekä vuosiraportteina tekstimuodossa, sisältäen asemien vuosikeskiarvot, mini- ja maksimitunnit, mittausten ajallinen kattavuus sekä mahdolliset raja-arvojen ylitykset. Tämän lisäksi palvelun nettisivuilla on mahdollisuus seurata tuntikohtaista ilmanlaatuindeksiä reaaliajassa tai takautuvasti rajoitetulla aikajänteellä.

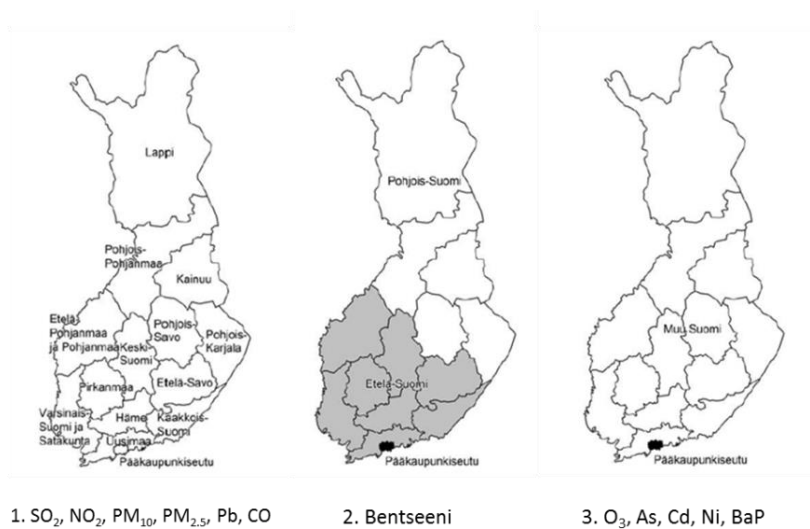
Ilmanlaatuportaalista saatavilla olevia tuntikohtaisia ilmanlaatatietoja analysoimalla on mahdollista tuottaa tarkempaa tietoa asemakohtaisesti mm. ilmansaastepitoisuuksien ajallisesta vaihtelusta esim. vuorokauden sisällä, viikonpäivien tai kuukausien ja vuodenaikojen välillä sekä tutkia eri ilmansaasteiden välisiä riippuvuussuhteita. Myös säätietojen linkittäminen ilmanlaatudataan on mahdollista, jolloin voidaan tutkia mm. lämpötilan, tuulen nopeuden ja suunnan, sateen ym. vaikutusta pitoisuuksiin. Säättiedon hankkiminen vaatii kuitenkin tiedon hakemisen eri palvelun kautta sekä lisäksi säättiedon ajallisen sovittamisen ilmanlaatudatan kanssa.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

Ilmanlaatua säännellään Suomessa monin eri säädöksin ja ilmansaasteiden pitoisuuksia seurataan ilmanlaadun mittausverkostoon kuuluvien asemien avulla. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan ilmanlaadun mittausverkoston rakennetta, ilmansaasteiden pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä päästölähteitä ja niiden määrittämiseen käytettyjä menetelmiä.

2.1. ILMANSAASTEIDEN SÄÄNTELY JA MITTAAMINEN SUOMESSA

Ulkoilmanlaatua Suomessa säännellään tavoite-, kynnyks-, sekä kansallisilla ohjearvoilla (Taulukko 1). Euroopan unionin alueen sitovimmat ilmanlaadunormit on määritelty raja-arvoilla. Suomi on jaettu valtioneuvoston asetuksilla (Vna 38/2011 ja Vna 164/2007) seuranta-alueisiin ilmanlaadun terveyshaittojen ehkäisemiseksi (Kuva 1). (Komppula ym. 2014).



Kuva 1. Ilmanlaadun seuranta-alueet (Vna 38/2011 ja Vna 164/2007) (Komppula ym. 2014).

Taulukko 1. Suomessa säänneltyt ulkoilman epäpuhtaudet ja niille asetetut raja-, tavoite-, ohje-, ja kynnysarvot. (Korhonen ym. 2015)

Komponentit		Keskiarvoistusajaka			
		Vuosi $\mu\text{g m}^{-3}$	Vrk $\mu\text{g m}^{-3}$	Tunti $\mu\text{g m}^{-3}$	Muu $\mu\text{g m}^{-3}$
Hiukkaset					
1	Pienhiukkaset	PM _{2.5}	10 (a), 25 (b)	25 (a)	
2	Hengitettävät hiuk.	PM ₁₀	20 (a), 40 (b)	50 (ab*) , 70 (e ¹)	
3	Kokonaisleijuma	TSP	50 (e)	120 (e)	
Hiukkasten sisältämät aineet					
4	Lyijy	Pb	0.5 (ab)		
5	Nikkeli	Ni	20n (b)		
6	Arseeni	As	6n (b)		
7	Kadmium	Cd	5n (ab)		
8	Bentso[a]pyreeni	B[a]P	1n (a)		
Kaasut					
9	Typpidioksidi	NO ₂	40 (ab)	70 (e ¹)	150 (e ³), 200 (ab*)
10	Typhen oksidit	NO _x	30 (c)		
11	Otsoni	O ₃		240 (f)	100 (a) [8h], 120 (d*) [8h],
12	Hiilimonoksidi	CO		7k (a)	20k (e) 8k (e) [8h], 10k (ab) [8h]
13	Rikkidioksidi	SO ₂	20 (c)	20 (a), 80 (e ¹), 125 (b*)	250 (e ³), 350 (b*)
14	Bentseeni	C ₆ H ₆	5 (b)		500 (af) [3h tai WHO 10 min.]
15	Haisevat rikkiyhdyk.	TRS		10 (e ¹)	

a) WHO ohjearvo

b) Terveysperusteinen raja-arvo

c) Kasvillisuusperusteinen raja-arvo

d) Tavoitearvo

e) Kansallinen ohjearvo

f) Kynnysarvo

Merkinnät:

* = tietyt ylitykset sallittu

k = tuhat

1 = Kuukauden toiseksi suurin vrk-arvo

2 = Vuoden vrk-arvojen 98.prosenttipiste

3 = Kuukauden tuntiarvojen 99.prosenttipiste

n = nanogrammaa

Kuntien on huolehdittava paikallisten olojen edellyttämästä ilmanlaadun seurannasta ja tarvittaessa tiedottaa kuntalaisia ilmanlaadun heikentyessä (YSL 527/2014). Toisiaan lähellä sijaitsevat kunnat voivat muodostaa yhteisen mittausverkon ja hoitaa mittauksia yhdessä. Suurin osa mittausasemista on sijoitettu kaupunkien keskustoihin ja vilkasliikenteisille alueille, valvomaan etteivät ihmiset altistu liian suurille ilmansaasteiden pitoisuuksille. Kaupunki-ilman tärkeimmät mitattavat komponentit ovat hiukkaset ja typpidioksidi. (Komppula & Lovén 2016). Teollisuuden ja energiatuotantosektorin päästöjä mittaavat asemat sijoitetaan asuinalueille, jotka ovat suurimman kuormituksen alaisena ja niillä mitataan erityisesti hiukkasten,

rikkidioksidin, haisevien rikkiyhdisteiden, raskasmetallien ja orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia. (Komppula & Lovén 2016). Teollisuus voi toteuttaa mittaukset yhteistoiminnassa kuntien kanssa osallistumalla mittausten rahoittamiseen tai ylläpitämällä omia mittausasemia. (Ilmanlaatuportaali 2016, Komppula ym. 2014).

2.2. VÄESTÖN ALTISTUMINEN ILMANSAASTEILLE

Ympäristöministeriön ja Sosiaali- ja terveysministeriön rahoittamassa Ilmansaasteiden terveysvaikutukset (ISTE) -hankkeessa arvioitiin vuonna 2015 ilmansaasteiden tautitaakkaa Suomessa (Hänninen ym. 2016, Lehtomäki ym. 2015). Aiempiin arvioihin verrattuna nyt ensimmäistä kertaa tuotettiin suuruusluokka-arviot kaikille säädellyille ilmansaasteille, kun aiemmin oli arvioitu lähinnä hiukkasia ja otsonia. Siten myös altistustasot arvioitiin 14 eri ilmansaasteelle (Taulukko 2). Altistustasot laskettiin väestöpainotettuina pitoisuuksina pääasiassa käyttäen kahta eri menetelmää regressioanalyysia ja kuntakohtaista ekstrapolaatiomallia ja väestöpohjaista 2- tai 3-portaista allokaatiomallia. Kaksiportaisessa allokaatiomallissa Suomi jaettiin pääkaupunkiseutuun ja muuhun Suomeen sekä kolmiportaisessa allokaatiomallissa pääkaupunkiseutuun, muihin kaupunkeihin (yli 50 000 as.) ja maaseutuun (alle 50 000 as.). (Korhonen ym. 2015).

Allokaatiomallissa väestöpainotetut pitoisuudet kullekin alueelle määritettiin niillä sijainneiden väestön ja mittausasemien vuosikeskiarvopitoisuuksien perusteella. Mallilla kuvattiin karkeasti pitoisuuksien alueellista vaihtelua. Regressioanalyysissa tarkasteltiin kahta selittävää tekijää suhteessa mittaustuloksiin: käänteistä etäisyyttä Keski-Euroopan teollisuusalueista kaukokulkeumakomponentin kuvaajana, ja paikkakunnan asukaslukua paikallisten väestöpohjaisten päästölähteiden kuten liikenteen ja lämmityksen kuvaajana. (Korhonen ym. 2015).

Käänteistä etäisyyttä testattiin useasta eri pisteestä Gdanskista, Berliinistä, Pietarista ja Helsingistä, joista Gdansk toimi parhaiten kaukokulkeuman kuvaajana. Malli oli käyttökelpoinen, kun asemia regressioanalyysiä varten oli käytettävissä vähintään 20. Typpidioksidin pitoisuudesta selittyi 30 %, otsonin 27 %, hengitettävien hiukkasten 23 % ja pienhiukkasten 20 % käytettyjen tekijöiden perusteella. Ekstrapolaatiomallilla laskettiin pitoisuudet jokaiselle Suomen kunnalle kuntien väestön ja niille määritettyjen ilmansaasteiden pitoisuuksien perusteella. (Korhonen ym. 2015).

Taulukko 2. ISTE -hankkeessa määritetyt altistustasot, omissa arvioissa käytettyjen asemien määrä sekä määritetty pitoisuus 95 % luottamusväleinen. (Korhonen ym. 2015).

Altiste		Asemia n	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95 % luottamusväli $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hiukkaset				
1	PM _{2,5}	31	6,8	6,1–7,5
2	PM ₁₀	60	11,4	8,4–14,5
2.1	PM _{10-2.5}	21	6,4	3,9–8,8
Kaasut				
3	O ₃	23	55,4	54,9–55,9
3.1	SOMO35	23	1640	1000–2300
3.2	SOMO10	23	15900	15600–16100
4	NO ₂	22 ^a	9,9	9,0–10,8
4.1	NO ₂ vrk:n 1hmax	22 ^a	23,2	21,1–25,3
5	C ₆ H ₆	9	0,5	0,1–0,8
6	CO	3 ^a	121,6	52,6–190,6
7	SO ₂	17 ^b	0,9	0,7–1,1
8	NO _x	22 ^a	15,0	12,8–17,2
9	TRS	7 ^b	0,4	0,1–0,7
Hiukkaskomponentit				
10	Lyijy	5 ^a	4,0	0,0–8,2
11	Arseeni	5 ^a	0,3	0,1–0,6
12	Kadmium	5 ^a	0,1	0,0–0,2
13	Nikkeli	5 ^a	1,1	0,0–2,6
14	Bentso(a)pyreeni	10	0,5	0,3–0,6

a = esikaupunki-/kaupunki- / maaseututausta-asetat, b = liikenne- ja tausta-asetat

Regressioekstrapolaatiomallin lisäksi hiukkasten (PM_{2,5} ja PM₁₀) väestöpainotettujen pitoisuuksien laskennassa huomioitiin Euroopan ympäristökeskuksen (EEA) ja Maailman terveysjärjestön (WHO) arviot Suomen väestöpainotetuista pitoisuuksista. Vuoden 2013 väestöpainotetut altistustasot hiukkasille laskettiin näiden kolmen pitoisuuden keskiarvona ja olivat pienhiukkasille 6,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä hengitettävälle hiukkasille 11,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 3). Omien mallien tuottamat hiukkaspitoisuudet olivat lähellä toisiaan ja erosivat vain vähän asemien suorista keskiarvoista. Laskennassa käytettiin kaikkia Suomen asemia. Pienhiukkaspitoisuudet olivat noin 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pienemmät EEA:n ja WHO:n arvioihin verrattuna. Hengitettävien hiukkasten kohdalla omien mallien pitoisuudet tuottivat noin 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suuremmat pitoisuudet EEA:n ja WHO:n arvioihin verrattuna. (Korhonen ym. 2015).

Taulukko 3. EEA:n ja WHO:n (1,2), regressio- ja allokaatiomallien (3-5) sekä mittausasemien suoran keskiarvon (6) tuottamat arviot hiukkasten (PM_{2.5} ja PM₁₀) altistustasoista. Menetelmien 1-3 keskiarvo on ISTE-hankkeessa määritetty altistustaso. (Korhonen ym. 2015).

Väestöpainotetun altistuksen / pitoisuuden laskemiseen käytetty menetelmä	PM _{2.5} µg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³	Vuosi
1 EEA, Horalek ym. 2015	7,1	10,2	2012
2 WHO/Europe 2015	6,9	11,0	2012
3 Regressioekstrapolaatio kunnittain (SE, %)	6,4 (0,4, 5,6 %)	13,1 (1,1, 8,6 %)	2013
Menetelmien ka. (± SD)	6,8 (± 0,3)	11,4 (±1,5)	
Vaihteluväli (min-max)	6,4–7,1	10,2–13,1	
4 Allokaatiomalli (PKS, muu Suomi) (SE, %)	6,4 (0,4, 6,5 %)	13,2 (1,7,12,9 %)	2013
5 Allokaatiomalli (PKS, muut kaupungit, maaseutu) (SE, %)	6,3 (0,4, 6,6 %)	13,1 (1,5, 11,8 %)	2013
6 Kaikkien mittausasemien ka. (± SD)	6,6 (± 1,6)	12,8 (± 3,6)	2013

Typidioksidin väestöpainotettu altistustaso laskettiin regressio- ja allokaatiomallien keskiarvona (Taulukko 4), joka vuonna 2013 oli 9,9 µg/m³. Mallien tuottamat arviot altistustasoista olivat noin yhden mikrogramman sisällä toisistaan ja ne laskettiin käyttäen esikaupunki- ja kaupunkitausta sekä maaseututausta-asemia. Mittausasemien suora keskiarvo on tästä syystä huomattavasti korkeampi, koska siinä on huomioitu liikenne- ja teollisuusasemat ja varsinkin liikenneympäristöissä sijaitsevien asemien pitoisuudet nostavat keskiarvoa reilusti ylöspäin.

Taulukko 4. Regressioekstrapolaatio-(1) ja allokaatiomalleilla (2,3) lasketut väestöpainotetut altistustasot typidioksidille (NO₂) sekä mittausasemien suora keskiarvo (4) vuonna 2013. ISTE-hankkeessa määritetty väestöpainotettu altistustaso laskettiin menetelmien 1-3 keskiarvona. (Korhonen ym. 2015).

Väestöpainotetun altistuksen / pitoisuuden laskemiseen käytetty menetelmä	NO ₂ µg m ⁻³	Vuosi
1 Regressioekstrapolaatio kunnittain (SE, %)	10,1 (1,0, 9,7 %)	2013
2 Allokaatiomalli (PKS, muut kaupungit, maaseutu) (SE, %)	9,4 (3,0, 31,9 %)	2013
3 Allokaatiomalli (PKS, muu Suomi) (SE, %)	10,3 (1,3, 12,5 %)	2013
Menetelmien ka. (± SD)	9,9 (± 0,5)	
Vaihteluväli (min-max)	9,4–10,3	
4 Kaikkien mittausasemien keskiarvo (± SD)	14,7 (± 8,5)	2013

Rikkidioksidin väestöpainotettu altistustaso määritettiin 3-portaisella allokaatiomallilla. Vuonna 2013 altistustaso oli 0,9 µg/m³ (Taulukko 5). Kaksiportaisella allokaatiomallilla tulos

olisi ollut samanlainen. Altistustasojen arvioinnissa käytettiin liikenne- ja maaseututaustasemien mittauksia. Kaikkien asemien suora keskiarvo on paljon suurempi malleihin verrattaessa johtuen teollisuusasemien noin kaksinkertaisista pitoisuuksista muihin asemiin verrattuna.

Taulukko 5. Rikkidioksidin (SO₂) määritetyt altistutasot allokaatiomalleilla (1 ja 2) sekä mittausasemien suora keskiarvo (3) vuonna 2013. Väestöpainotettu altistustaso ISTE-hankkeessa määritettiin kohdan 1 allokaatiomallilla. (Korhonen ym. 2015).

Väestöpainotetun altistuksen / pitoisuuden laskemiseen käytetty menetelmä	SO ₂ µg m ⁻³	Vuosi
1 Allokaatiomalli (PKS, muut kaupungit, maaseutu) (SE, %)	0,9 (0,1, 10,4 %)	2013
2 Allokaatiomalli (PKS, muu Suomi) (SE, %)	0,9 (0,1, 13,7 %)	2013
3 Kaikkien mittausasemien keskiarvo (± SD)	1,6 (± 1,4)	2013

2.3. PÄÄSTÖLÄHTEITÄ JA PITOISUUKSIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Ilmanlaadun parantaminen edellyttää päästölähteisiin vaikuttamista ja siten niiden tunnistaminen on keskeistä. Tässä luvussa tarkastellaan tärkeimpiä päästölähteitä, niiden tuottamia ilmansaasteita ja pitoisuuksien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä.

2.3.1. Ilmansaasteiden merkittävimmät lähteet

Ilmansaasteita pääsee ilmaan monista eri lähteistä, joista fossiilisten polttoaineiden poltosta aiheutuvia päästöjä pidetään merkittävänä. Ilmansaasteet jotka vapautuvat suoraan päästölähteestä ilmaan, kutsutaan primäärisiksi saasteiksi. Ilmakemiallisissa reaktioissa syntyviä ilmansaasteita kutsutaan puolestaan sekundäärisiksi saasteiksi, jotka reagoivat ilmassa joko toisten ilmansaasteiden tai ilmakehän kaasujen kanssa. (Bernstein ym. 2004).

Hiukkaset ja niiden sisältämät komponentit

Primäärihiukkaset ovat peräisin joko luonnollisista tai ihmisten toiminnasta johtuvista lähteistä. Ihmisen toiminnoissa syntyvät hiukkaset ovat peräisin mm. erilaisista polttotapahtumista, kuten energiantuotannosta, kotitalouksien tulisijoista ja liikenteestä. Liikenteestä syntyy hiukaspäästöjä myös renkaiden, jarrujen ja tien kulumisen seurauksena. Primäärihiukkasten luonnollisia lähteitä ovat mm. aavikot ja eroosio, merisuola, maastopalot, siitepölyt ja monet

muut biologiset lähteet sekä tulivuoret. (Guerreiro ym. 2015). Suomessa syntyvistä hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) päästöistä merkittävä osa on peräisin energiantuotannosta (ml. pienpoltto), liikenteestä ja teollisuudesta. Pienhiukkaspäästöt ($PM_{2.5}$) muodostuvat kotitalouksien pienpoltosta, energian- ja lämmöntuotannosta sekä liikenteestä. Liikenteen päästöistä suurin osa on ei-pakokaasumaisia päästöjä. (Alaviippola & Pietarila 2011, Komppula ym. 2014).

Sekundäärihiukkasia syntyy ilmassa olevista kaasuista, joita ovat mm. rikkidioksidi (SO_2), typen oksidit (NO , NO_2), ammoniakki (NH_3) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Ammoniakki, rikkidioksidi ja typen oksidit muodostavat ilmassa ammonium-, sulfaatti-, ja nitraattiyhdisteitä, jotka muodostavat ilmassa sekundäärisiä epäorgaanisia hiukkasia, joko tiivistymällä jo olemassa oleviin hiukkasiin tai muodostamalla kokonaan uusia. Sekundäärisiä orgaanisia hiukkasia syntyy VOC-yhdisteiden hapettuessa, jolloin syntyy vähemmän haihtuvia yhdisteitä. (Guerreiro ym. 2015). Bentso(a)pyreeniä (B(a)P) pääsee ilmaan epätäydellisen palamisen seurauksena puun-, hiilen- ja jätteenpoltossa, koksen ja teräksen valmistuksessa sekä tieliikenteestä. Luonnollisia hiukkaslähteitä ovat metsäpalot ja tulivuorenpurkaukset. (Alaviippola ym. 2007, Guerreiro ym. 2015).

Raskasmetalleja vapautuu ilmaan pääasiassa fossiilisten polttoaineiden poltossa, metalliteollisuudessa ja jätteiden poltossa. Arseni (As) on pääasiallisesti peräisin polttoaineiden palamisesta ja metallisulatoista ja luonnollisia lähteitä ovat tulivuorenpurkaukset ja rapautumisprosessit. Kadmiumia (Cd) vapautuu mm. raudan ja teräksen tuotannossa, jätteiden poltossa ja sementin valmistuksessa sekä kaukokulkeumalla on merkittävä osuus kadmiumin leviämisesä. Nikkeliä (Ni) vapautuu polttoöljyn ja hiilen poltossa, kaivostoiminnassa ja alkutuotannossa, jätteenpoltossa ja teräksen valmistuksen yhteydessä. Luonnollisia lähteitä ovat mm. tulivuorenpurkaukset ja tuulen kuljettamat maaperähiukkaset. Lyijy (Pb) on peräisin fossiilisten polttoaineiden poltosta sekä raudan, teräksen ja sementin valmistuksesta johtuvista päästöistä. (Alaviippola ym. 2007, Guerreiro ym. 2015). Suomessa raskasmetallien päästöistä merkittävin osa syntyy energiantuotannossa sekä jonkin verran myös teollisuuden prosesseissa (Komppula ym. 2014).

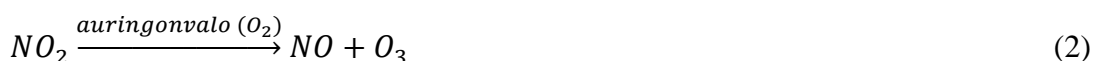
Typen oksidit ja otsoni

Typen oksideista (NO ja NO_2) suurin osa on peräisin polttoprosesseista kuten energiantuotannosta ja liikenteestä, joista suurin osa Suomen päästöistä on peräisin (Anttila ym. 2011, Guer-

reiro ym. 2015). Typpimonoksidia syntyy poltossa eri muodostumismekanismien kautta, joita ovat terminen NO, polttoperäinen NO ja nopea NO. Terminen NO syntyy korkeissa lämpötiloissa (optimi yli 1600 °C) palamisilman typestä ja hapestä, sillä molekyylylitypen (N₂) sidoksen rikkomiseen tarvitaan paljon energiaa. Termistä typpimonoksidia syntyy mm. energiantuotannon yhteydessä ja liikenteessä. Nopea NO syntyy nimensä mukaisesti nopeasti palamisen alkuvaiheissa, kun polttoaineeseen sitoutuneet hiilivedyt vapautuvat ja reagoivat palamisilman typen kanssa. Nopean NO:n muodostuminen on riippuvainen polttoaineen ja ilman välisestä suhteesta ja sitä syntyy eniten liekin polttoainerikkaalla vyöhykkeellä. (Nath & Cholakov 2009).

Polttoperäinen NO syntyy polttoaineen sisältämästä typestä ja ei ole niin riippuvainen palamisen lämpötilasta vaan syntyy vaikuttavat voimakkaimmin mm. hapen määrä ja sekoittumisolosuhteet. Polttoaineen typpi vapautuu pyrolyysin yhteydessä muodostaen syanidi- ja amiiniyhdisteitä, jotka hapettuvat typpimonoksidiksi. Typen määrä riippuu polttoaineesta ja esimerkiksi kivihiilessä typpeä on noin 1-2 %. (Nath & Cholakov 2009).

Suurin osa poltossa syntyvistä typenoksideista on typpimonoksidia. Typpidioksidia syntyy vain noin 5-10 % (Nath & Cholakov 2009). Poikkeuksen muodostavat uudet dieselautot, joissa parhaimmillaan yli puolet typen oksidien päästöistä voi syntyä typpidioksidina, pakokaasun jälkikäsittelymenetelmien ansiosta. (Guerreiro ym. 2015). Typpimonoksidia ja typpidioksidia syntyy liikenteessä ensisijaisesti suorina pakokaasupäästöinä. Suurin osa typpidioksidista syntyy typpimonoksidin hapettuessa typpidioksidiksi, kun NO hapettuu yleensä muutamien sekuntien tai minuuttien aikana otsonin tai peroksiradikaalien (RO₂) läsnä ollessa typpidioksidiksi (yhtälö 1). Auringonvalon vaikutuksesta NO₂ fotolysoituu osittain takaisin typpimonoksidiksi ja otsoniksi (yhtälö 2). (Anttila ym. 2011, Kurtenbach ym. 2012).



Alailmakehän otsonia (O₃) ei synny suorina päästöinä vaan sitä syntyy yleisimmin typen oksidien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (Non-Methane Volatile Organic Compounds, NMVOC) välisissä valokemiallisissa reaktioissa. (Guerreiro ym. 2015)

Bentseeni, hiilimonoksidi ja rikkidioksidi

Bentseenistä (C_6H_6) suurin osa on peräisin liikenteestä. Alueilla joissa puun poltto on merkittävä kotitalouksien energianlähde voi se olla huomattava paikallinen bentseenin lähde. Muita lähteitä ovat öljynjalostus ja bensan käsittely, jakelu ja säilytys. Myös hiilimonoksidia (CO) syntyy fossiilisten ja biopolttoaineiden epätäydellisen palamisen seurauksena. Rikkidioksidia (SO_2) syntyy rikkiä sisältävien polttoaineiden palamisprosesseissa kuten kiinteistöjen lämmityksessä, energiantuotannossa ja laivaliikenteessä. (Guerreiro ym. 2015).

2.3.2. Ilmansaasteiden sekoittuminen, kulkeutuminen ja laimeneminen

Suurin osa päästöistä vapautuu ilmakehän alimpaan rajakerrokseen, jossa ilmansaasteet sekoittuvat ja laimenevat. Rajakerroksen korkeudesta riippuu kuinka suuri ilmatilavuus ilmansaasteilla on, johon ne voivat sekoittua. (Salmi ym. 2014, Salmond & McKendry 2005) Mitä korkeampi korkeus rajakerroksella on, sitä suurempaa on ilmamassan sekoittuminen, joka puolestaan alentaa ilmansaasteiden pitoisuuksia maanpinnan tasolla. Rajakerroksen korkeus on suuri, kun maanpinnan lämpötila on korkea ja kosteus alhainen. (Zhang ym. 2013). Suomessa rajakerroksen korkeus on yleensä alle kilometrin ja matalimmillaan se on talven kovilla pakkasilla, mutta kesäisin korkeus voi olla yli kaksi kilometriä (Salmi ym. 2014). Kerroksen korkeuden lisäksi ilmansaasteiden kulkeutumiseen, sekoittumiseen ja pitoisuuksiin vaikuttavat tuuliolosuhteet ja ilmavirtausten pyörteisyys (Fisher 2002).

Tuulen suunta ja nopeus, ilmakehän stabiilisuus ja sekoituskorkeus ovat leviämisen kannalta merkittäviä tekijöitä. Ilmakehän stabiilisuuteen, jolla tarkoitetaan ilmakehän pystysuuntaisen sekoittumisen herkkyyttä, vaikuttaa ilmakehän pystysuuntainen lämpötilarakenne ja ilman pyörteisyys. Inversiotilanteissa maanpinnan lähellä oleva ilmakerros on ylempänä olevaa ilmakerrosta kylmempi ja ei näin ollen pääse raskaampana kohoamaan yläpuolella olevan lämpimämmän ja kevyemmän ilmamassan läpi. (Salmi ym. 2014). Kylmä ilma voi jäädä lämpimämmän ilman alle maanpinnan ja sen lähellä olevan ilman jäähtyttyä tai lämpimämmän ilman kulkeuduttua kylmän ilman päälle. Inversion aikana pitoisuudet pääsevät kohoamaan normaalia korkeammiksi koska ilmansaasteiden laimeneminen on heikkoa, heikon tuulen ja ilmaa sekoittavan pyörteisyyden vähäisyydestä johtuen. (Ilmatieteen laitos 2016).

Liikenteen hengityskorkeudelle purkautuvat typen oksidi- ja hiukkaspäästöt ovat merkittävässä asemassa inversiotilanteissa. Puunpoltosta syntyvät hiukkaspäästöt voivat nostaa pitoisuuksia puolestaan pientaloalueilla pakkasjaksojen aikaan. Voimakkaimmat inversiotilanteet syntyvät selkeän ja heikkotuulisen yön jälkeen. (Ilmatieteen laitos 2016). Ilmansaasteet voivat kulkeutua rajakerroksessa ilmamassojen mukana laajoille alueille. Kulkeutumisen aikana päästöt voivat reagoida keskenään tai muiden ilmansaasteiden kanssa ja muodostavat uusia yhdisteitä. Ilmansaasteiden poistuminen ilmakehästä tapahtuu märkälasseumana, kuivalasseumana tai kemiallisen muutunnan kautta. (Salmi ym. 2014).

2.3.3. Vuodenaikais- ja viikonpäivävaihtelun vaikutukset ilmansaasteiden pitoisuuksiin

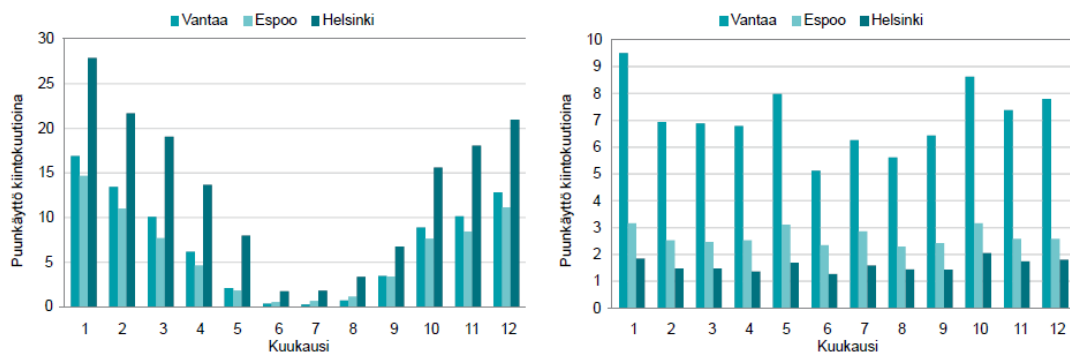
Ilmanlaatu on yleensä parhain kesäisin, kun lämmitystarve ja liikenne ovat pienimmillään (erityisesti heinäkuussa) sekä ilmansaasteiden sekoittuminen ja laimeneminen tehokkainta. Keväällä pitoisuuksien nousua edistää säätila, joka on epäsuotuisa ilman sekoittumisen ja laimenemisen kannalta. Kevätpölykausi syntyy, kun lumet sulavat ja kadut kuivuvat, jolloin liikenteen ja tuulen vaikutuksesta ilmaan nousee talven aikana levitetty ja liikenteen hienontama hiekoitushiekka sekä jauhautunut asfaltti. Alailmakehän otsonia muodostuu valokemiallisissa reaktioissa joten sen pitoisuudet ovat korkeimmillaan keväisin ja kesäisin. Suuri osa Suomen otsonista on kaukokulkeumaa muualta Euroopasta. Typpidioksidia syntyy suorien päästöjen lisäksi typpimonoksidin ja otsonin välisessä kemiallisessa reaktiossa. Typpidioksidipitoisuudet ovatkin usein korkeimmillaan keväisin otsonin määrän lisääntyttyä. Talvella sitä vastoin päästöt ovat suurimmillaan sekä ilman sekoittuminen ja laimeneminen heikoimmillaan, jolloin suorien päästöjen (mm. SO₂, NO, CO) aiheuttamat pitoisuudet ovat korkeimmillaan. (Aarnio ym. 2014).

Pääkaupunkiseudulla selvitettiin tulisijojen käyttöä ja niistä aiheutuvia päästöjä pientaloissa vuosien 2008 ja 2009 aikana kyselytutkimuksella. Yleisin lämmityspäivä pääasiallisilla tulisijoilla ajoittui viikonlopulle varsinkin lauantaille ja perjantaille (Kuva 2). Suosituimmat saunomispäivät olivat puolestaan lauantai ja keskiviikko. Sekä kiuasta että varaavia tulisijoja lämmitettiin eniten klo 17–21 välisenä aikana, mutta varaavia tulisijoja lämmitettiin jonkin verran myös aamun ja aamupäivän aikana. Pääasiallista tulisijaa lämmitettiin eniten jouluhelmikuun välisenä aikana ja vähiten kesä-elokuussa (Kuva 3). Puukiukaan lämmittämisessä

ei ole nähtävissä yhtä selkeää vuodenaikaan liittyvää jakaumaa kuin varaavan tulisijan lämmittämisessä. (Makkonen ym. 2012).



Kuva 2. Varaavien tulisijojen ja kiukaan arvioitu käyttö eri viikonpäivinä ja vuorokaudenaikoina. (EOS = vastaaja ei osannut sanoa tiettyä kellonaikaa). (Makkonen ym. 2012).

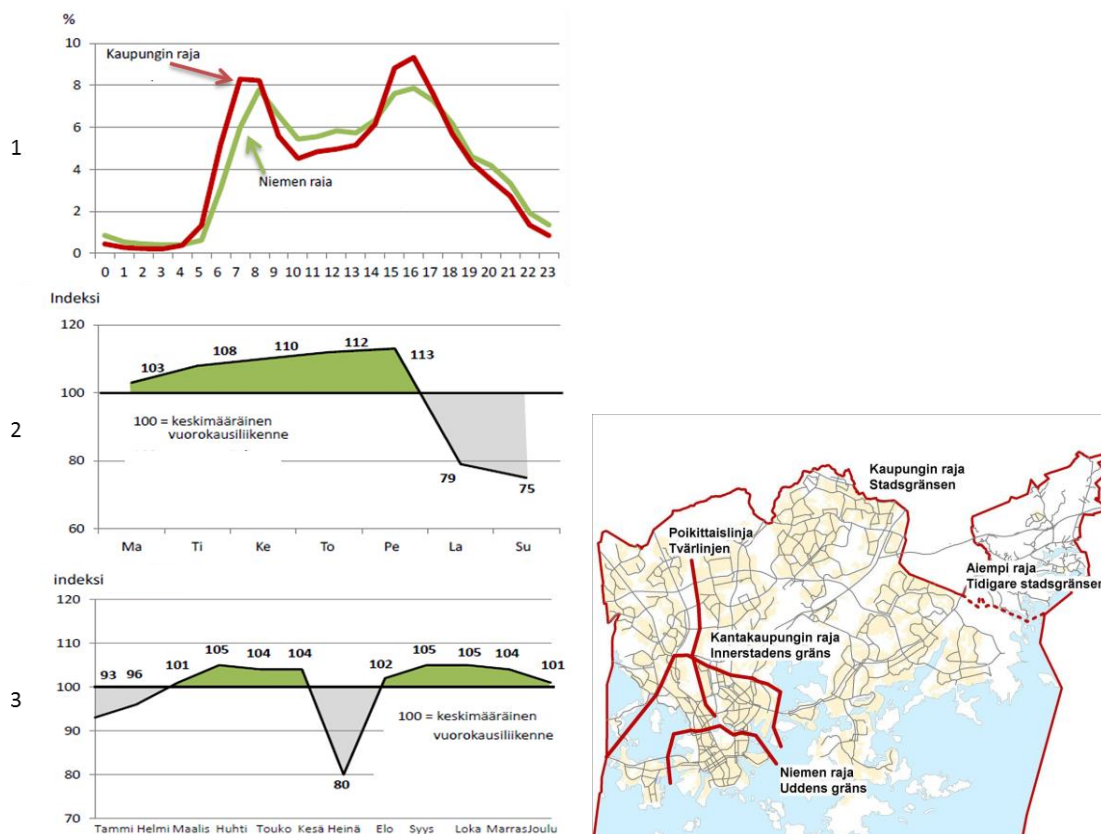


Kuva 3. Polttopuun kuukausittainen kokonaiskäyttö pääkaupunkiseudulla: vuonna 2009 vastanneiden kesken (n=359): varaava takka (vasemmalla) ja puukiuas (oikealla) vuonna 2009). Kokonaiskäyttö 485 kiintokuutiometriä (Makkonen ym. 2012).

Helsingissä liikenne oli vilkkaimmillaan vuonna 2014 aamuisin klo 7-8 ja iltapäivisin klo 15–16 välillä (Kuva 4). (Helsingin kaupunki 2016). Ruuhkaisimmat ajat noudattelivat töihin meno- ja paluuaikoja, jolloin myös liikenteestä peräisin olevat ilmansaastepitoisuudet olivat korkeimmillaan. Keskipäivän tienoilla sekä yön ja aamuyön tunteina pitoisuudet laskivat. Iltapäivän ruuhka-aika ajoittuu yleensä pitemmälle aikavälille, eikä yhtä selkeää pitoisuuksien nousua ole nähtävissä kuin aamulla. Illan ja aamun pitoisuuksiin vaikuttaa myös meteorologia, sillä silloin on usein laimenemisen kannalta epäsuotuisin sää, heikko tuuli ja mahdollisesti inversio. (Aarnio ym. 2014).

Arkipäivistä vähiten liikennettä oli maanantaisin ja liikennemäärät kasvoivat perjantaita kohti mentäessä. Lauantaisin ja sunnuntaisin liikennemäärät olivat selvästi arkea pienemmät (Helsingin kaupunki 2016). Viikonloppuisin liikennettä oli kuitenkin enemmän iltaisin ja öisin kuin arkipäivien vastaaviin aikoihin verrattuna ja huonojen laimenemisolosuhteiden vuoksi pitoisuudet voivat nousta korkeiksi. (Aarnio ym. 2014). Kuukausista heinäkuussa liikennemäärä on selvästi muita kuukausia pienempi ja myös tammi- ja helmikuussa liikennemäärät ovat hieman pienempiä keskimääräiseen liikennemäärään verrattaessa. Muina kuukausina liikennettä on hieman keskimääräistä enemmän. (Helsingin kaupunki 2016).

Suomessa liikenteen aiheuttamat typenoksidipäästöt ja pitoisuudet kaupungeissa ovat vähentyneet 1994–2007 välisenä aikana nopeammin kuin typpidioksidipitoisuudet. Liikenteestä aiheutuvien typenoksidipäästöt ovat pienentyneet n. 50 % sekä kaupunkien liikenneympäristöissä mitatut pitoisuudet ovat pienentyneet keskimäärin 40 % typen oksidien ja 20 % typpidioksidin osalta. Vähenevä trendi havaittiin yhdeksällä kaupunkien liikenteen päästöjä mittaavalla asemalla, mutta myös neljällä esikaupunkialueella sijainneella asemalla, joiden pitoisuuksiin liikenne vaikutti vähemmän. (Anttila & Tuovinen 2010). Samanlaisia havaintoja typen oksidien ja typpidioksidin pitoisuuksissa liikenneympäristöissä on tehty myös mm. Saksassa sekä muualla Euroopassa. Typen oksidien pitoisuudet ovat pudonneet selvästi kun taas typpidioksidipitoisuudet ovat pudonneet vain vähän, ei ollenkaan tai ovat jopa nousseet. (Kurtenbach ym. 2012).



Kuva 4. Liikenteen vaihtelu 1) tunneittain (% vrk-liikenteestä) sekä 2) viikoppäivittäin 3) että kuukausittain keskimääräisestä vrk-liikenteestä (= 100) Helsingissä v.2014 (Helsingin kaupunki 2016) sekä ajoneuvoliikenteen laskentalinjat (Lilleberg & Hellman 2015).

Sytä siihen, että typpidioksidipitoisuudet ovat pienentyneet vähemmän kuin typen oksidien pitoisuudet on kaksi. Suorat NO_2 päästöt pakokaasuista ovat kasvaneet 1990-luvulta lähtien johtuen dieselautojen suosion kasvusta ja esimerkiksi Helsingissä typpidioksidin suorien päästöjen osuus typen oksidien kokonaispäästöistä liikenneympäristöissä ovat kasvaneet 1990-luvulta vuoteen 2009 mennessä alle 10 % osuudesta yli 20 %. Dieselautojen typen oksidi päästöissä typpidioksidia on suhteessa enemmän kuin bensa-autoissa. (Anttila ym. 2011). Toinen syy on se, että NO muuntuu NO_2 :ksi ja vaikka NO päästöt ovat pudonneet merkittävästi, ei se ole vaikuttanut typpidioksidin muodostumiseen pienentävästi, sillä otsonia on useimmiten vähemmän saatavilla (minimitekijä) typpimonoksidin ja otsonin välisiin reaktioihin, jossa typpidioksidia muodostuu. Sekundäärinen typpidioksidin syntyä pidetään merkittävimpänä vaikuttavana tekijänä liikenneympäristöjen typpidioksidipitoisuuksiin. (Keuken ym. 2009, Kurtenbach ym. 2012).

2.4. PÄÄSTÖLÄHDEOSUUKSIEN ARVIOINTI

Lähdearvioinnilla selvitetään mistä lähteistä säädösten ja ohjeiden ylitykset johtuvat (esim. luonnolliset lähteet, teiden suolaus ja hiekoitus), tuotetaan tietoa tapahtuvista tai tulevista ylityksistä ja suunnitellaan toimenpiteet ilmanlaadun parantamiseksi. Erityisesti Euroopan unionin (EU) alueella lähdeosuuksien arvioinneilla tuotettua tietoa on käytetty EU:n ilmanlaatu-direktiivien (2008/50/EY ja 2004/107/EY) toimeenpanemiseksi. (Belis ym. 2014).

Menetelmät ilmansaasteiden lähteiden tunnistamiseksi ja lähdeosuuksien määrittämiseksi voidaan jakaa pääryhmiin, joita ovat reseptorimallit, päästökartoitukset ja/tai leviämismallit sekä ilmanlaadun mittausaineiston analysointiin perustuvat menetelmät (Viana ym. 2008, Karagulian ym. 2015).

2.4.1. Reseptorimallit

Reseptorimallit perustuvat ilmanlaadun mittausasemalla (reseptorilla) kerätyn ilmansaasteen kemiallisen datan tilastolliseen käsittelyyn (Viana ym. 2008). Malleja käytetään yleisesti hiukkasten (PM_{10} ja $PM_{2.5}$) lähteiden erittelyssä, joka perustuu hiukkasten sisältämien komponenttien (esim. ionit, hiili, metallit, orgaaniset yhdisteet) koostumuksen analysointiin. Eri lähteillä esim. liikenteellä, teollisuudella tai puun pienpoltosta syntyvillä päästöillä on erilainen kemiallinen koostumus, joiden avulla on mahdollista tunnistaa ja arvioida eri lähteiden osuutta hiukkasten kokonaismassasta. (Karagulian ym. 2015).

Reseptorimalleista käytetyimpiä malleja ovat, Positive Matrix Factorization (PMF) ja Chemical Mass Balance (CMB) (Belis ym. 2014). CMB-menetelmässä ilmansaasteiden tärkeimmät lähteet ovat tiedossa, jolloin lähteillä ja reseptoreilla analysoitujen hiukkasten koostumuksia verrataan toisiinsa. PMF-menetelmässä lähteet yritetään tunnistaa reseptorilla mitatun datan perusteella. (Viana ym. 2008). Reseptorimallien suurimpia ongelmia on, että niillä ei pystytä tunnistamaan lähteitä ja päästölähteiden sijaintia riittäväällä tarkkuudella, josta johtuen on vaikea päätellä ne päästölähteet joiden päästöjä tulisi vähentää (Tainio 2009).

2.4.2. Päästökartoitus ja leviämismallit

Päästökartoituksissa kerätään yhteen eri lähteiden päästötiedot tietyssä ajanjaksona ja rajatulta maantieteelliseltä alueelta. Päästökartoitusta varten tarvitaan tietoa päästöjä aiheuttavan toiminnan tuotantomääristä ja päästökertoimista. Päästökartoituksilla ei pystytä kuitenkaan suoraan kertomaan ilmansaasteen todellista ilmakehään päätyvää osuutta, mutta tästä huolimatta menetelmää käytetään usein suoraan päästöjen vähentämiseen tähtäävien suunnitelmien pohjana. (Belis ym. 2013b). Leviämismalleilla simuloidaan mm. päästöjen muodostumista, kulkeutumista ja depositiota. Mallit tarvitsevat yksityiskohtaista päästötietoa, jota ei usein ole saatavilla tai se on puutteellista ja rajoittaa mallien käyttöä. Leviämismallit ovat kuitenkin käyttökelpoisia varsinkin silloin, kun tarvitaan tietoa siitä, miten eri päästövähennystavoitteet tulevat vaikuttamaan ilmansaasteiden pitoisuuksiin. (Viana ym. 2008).

Ilmatieteen laitoksella kehitetyillä leviämismalleilla arvioidaan mm. kaupunkialueella ja liikenteestä syntyvien päästöjen vaikutusta ilmanlaatuun. Kaupunkialueen pistemäisistä lähteistä peräisin olevien päästöjen pitoisuuksia ulkoilmassa arvioidaan Urban Dispersion Modelling system (UDM-FMI) leviämismallilla. Malliin sisältyy meteorologista aineistoa käsittelevä Meteorological Preprocessing Model (MPP-FMI) malli. UDM-FMI mallia voidaan käyttää yhdessä tieliikenteen päästöjen kuvaamiseen kehitetyn Contaminants in the Air from a Road (CAR-FMI) mallin kanssa, jolla lasketaan liikenteen aiheuttamia pitoisuuksia eri etäisyyksillä liikenneväylästä. UDM-FMI ja CAR-FMI malleja käyttämällä on mahdollista mallintaa kaupunkialueen merkittävimpien päästölähteiden vaikutus ilmanlaatuun. Lähtötietoina malleissa on käytetty mm. tietoa meteorologiasta, alueen topografiasta, päästöistä ja päästölähteiden sijainnista sekä ilmansaasteiden alueellisista taustapitoisuuksista. (Gynther ym. 2012).

2.4.3. Asematyypivertailuihin ja aikasarja-analyysiin perustuvat menetelmät

Lähdeosuuksien selvittäminen ilmanlaadun mittausaineiston analysointiin perustuvilla menetelmillä perustuu yksinkertaisiin matemaattisiin laskuihin ja olettamuksiin. Lähteitä voidaan selvittää esimerkiksi tutkimalla tuulen suunnan ja mitatun ilmansaasteen pitoisuuksien tai kaasumaisten komponenttien ja hiukkasten välisiä korrelaatioita, tai vertaamalla erityyppisten ilmanlaadun mittausasemien, kuten maaseututausta-, kaupunkitausta- ja liikenneaseman pitoisuuksia toisiinsa (ns. Lenschow menetelmä). (Viana ym. 2008).

Lenschow käyttää lähteiden erotteluun ilmanlaadun mittaustietoja kolmelta asematyypiltä (Lenschow ym. 2001). Menetelmää on käytetty ainakin liikenteestä syntyvien hengitettävien hiukkasten pitoisuuksien määrittämisessä, jolloin käytetyt asematypit olivat liikenne-, kaupunkitausta- ja maaseututausta-asema.

Lenschow erittelee alueelliset lähdeosuudet seuraavasti:

- Liikenteen osuus kokonaispitoisuudesta lasketaan vähentämällä liikenneasemalla mitattu pitoisuus kaupunkitausta-aseman pitoisuudesta.
- Kaupunkitausta lasketaan vähentämällä kaupunkitausta-aseman pitoisuudesta maaseututausta-aseman pitoisuus.
- Maaseututausta-aseman pitoisuus on taso, johon kaupungin päästöt eivät juuri vaikuta ja koostuu pääasiassa kaukokulkeumasta.

Oletuksena menetelmässä on, että liikenne-asemalle jäävä osuus koostuu kokonaan liikenteestä. Edelleen taajamassa ja maaseudulla mitatut pitoisuudet voidaan osittaa eri lähteisiin, kun vertailuun otetaan mukaan alueella tehdyt päästörekisterit, jolloin päästöjen suhteellisten osuuksien avulla voidaan pitoisuudet jakaa lähteisiinsä ja laskea eri lähteiden osuus kokonaispitoisuudesta. (Lenschow ym. 2001)

Aikasarja-analyysiin perustuvalla menetelmällä lähteiden osuuksia voidaan selvittää tutkimalla esim. vuorokauden, viikonpäivien tai vuodenaikojen välisiä vaihteluita pitoisuuksissa. Esimerkiksi liikenteestä johtuvat pitoisuudet on mahdollista havaita korkeimpina pitoisuuksina ruuhka-aikoina varsinkin arki-aamuisin ja ilta-aamuisin. Helsingissä selvitettiin mustan hiilen lähteitä 1990-luvun lopulla aikasarja-analyysiin perustuvalla menetelmällä yhdellä liikenneasemalla marraskuun 1996 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana (Pakkanen ym. 2000). Karkean arvion perusteella, taustapitoisuutena pidettiin mittausjakson datasta koostetun vuorokausiprofiilin pienintä tuntikeskiarvopitoisuutta, keskimääräisenä altistustasona mittausjakson keskiarvopitoisuutta ja liikenteen osuus altistuksesta laskettiin vähentämällä keskimääräisestä pitoisuudesta pienin tuntikeskiarvopitoisuus. Kaukokulkeuman (taustapitoisuuden) ja muiden pienempien lähteiden osuus määritettiin tarkemmin laskemalla arkipäivien aamuyön (klo 2-5) tuntipitoisuuksien keskiarvo eri tuulensuunnista. Tästä arviosta vähennettiin vielä yönaikaisen liikenteen vaikutus, joka määritettiin viikonlopun ja arkipäivien aamuyön tuntien pitoisuuksia vertailemalla. Jäljelle jäänyt osuus koostui kaukokulkeumasta ja muista pienistä paikallisista lähteistä.

2.5. HIUKKASTEN LÄHDEOSUUDET SUOMESSA

Pääkaupunkiseudulla tieliikenteen vaikutus pienhiukkaspitoisuuksiin on arviolta $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kaupunkialueella ja $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ haja-asutusalueella (Taulukko 6). Yli 100 000 asukkaan kaupungeissa pitoisuudet ovat hieman pienempiä pääkaupunkiin verrattuna ($3,0$ ja $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ja alle 100 000 asukkaan kunnissa pitoisuuksien arveltiin olevan vain noin 25 % pääkaupunkiseudun pitoisuuksista tai tätä vähemmän. (Gynther ym. 2012).

Taulukko 6. Liikenteestä ja energiantuotannosta peräisin olevien pienhiukkasten pitoisuudet vuodelle 2007 erikokoisissa kunnissa UDM- ja CAR-FMI malleilla arvioituna. (Gynther ym. 2012).

PM _{2,5}		Kaupunki	Haja-asutusalue _s
Lähde		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tieliikenne	Helsinki/pääkaupunkiseutu	4	2
	Turku (>100 000 as.)	3	1,5
	Kouvola (50 000-100 000 as.)	1	0,6
	Riihimäki (10 000 -50 000 as.)	0,8	0,5
	Muut kunnat	0,2	0,2
Laivaliikenne		0,2	0,1
Dieseljunaliikenne		0,1	0,05
Energiantuotanto, josta		0,01-0,02	0,01 -0,02
	Sähköntuotanto, josta	0,01	0,01
	Sähkövetoinen rautatieliikenne	0,00007	0,00007

Vuonna 2000 liikenteestä ja puun pienpoltosta johtuvan pitoisuuden arvioitiin olevan $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vuoden 2020 vastaava arvio $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 7). Vuonna 2000 liikenteestä peräisin olevaksi osuudeksi arvioitiin n. $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (76 %), joista pakokaasujen osuus oli n. $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (43 %). Vuoteen 2020 mennessä pakokaasupäästöistä johtuvan pitoisuuden arvioitiin laskevan merkittävästi ja olevan vain n. 5,5 % (noin $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Katupölystä sekä tien, renkaiden ja jarrujen kulumisesta johtuvan pölyn osuuden arvioitiin kuitenkin kasvavan. Puun pienpoltosta johtuvien pitoisuuksien arvioitiin pysyvän jotakuinkin samana, vaikka suhteellinen osuus kokonaispitoisuudesta hieman kasvaakin. Vuonna 2000 puun pienpoltosta johtuva pitoisuus oli mallin mukaan $0,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 %) ja vuonna 2020 arvio oli $0,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (noin 32 %). (Karvosenoja ym. 2011).

Taulukko 7. Liikenteestä ja puunpoltosta peräisin olevien pienhiukkasten pitoisuusarviot vuonna 2000 ja 2020 UDM-FMI leviämismallilla arvioituna. (Karvosenoja ym. 2011).

Lähde	Väestöpainotettu pitoisuus (1x1 km ²)	
	2000	2020
	µg/m ³ (%)	µg/m ³ (%)
Liikenne yht.	1,79 (76 %)	1,18 (68,2 %)
Pakokaasu	1,00 (43 %)	0,096 (5,5 %)
Tien/renkaiden/jarrujen kuluminen	0,11 (4,6 %)	0,15 (8,7 %)
Katupöly (Resuspensio)	0,68 (28 %)	0,93 (54 %)
Puun pienpoltto yht.	0,57 (24 %)	0,56 (32,2 %)
Ensisijainen (kattilat)	0,19 (7,9 %)	0,16 (9,2 %)
Toissijainen (uunit)	0,36 (15 %)	0,38 (22 %)
Vapaa-ajan asunnot	0,018 (0,8 %)	0,018 (1,0 %)
Yhteensä	2,4	1,7

Liikenteestä ja puunpoltosta syntyvistä päästöistä aiheutuvaa väestön altistumista vuosille 2000 ja 2020 paikallisella tasolla (1x1 km²) UDM-FMI leviämismallia käyttäen sekä alueellisella tasolla (10x10 km²) System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition (SILAM) leviämismallia käyttäen. Altistustasot arvioitiin käyttämällä asuinsoitteisiin perustuvaa väestöpainotettua ulkoilmapitoisuutta. (Karvosenoja ym. 2011).

UDM-FMI leviämismallilla tuotetut liikenteestä aiheutuvat pitoisuudet olivat 14-kertaiset verrattuna SILAM-mallin tuottamiin arvioihin. Kotitalouksien ensisijaisesta, kuten lämmityskattiloista, ja toissijaisesta (leivinuunit) lähteistä peräisin olevat pitoisuudet olivat 10- ja 6,6-kertaisia, ja vapaa-ajan asuntojen puunpoltosta peräisin oleva pitoisuus vain 1,6 kertaa suurempi, verrattaessa paikallisen tason mallin pitoisuuksia SILAM-mallilla tuotettuihin pitoisuuksiin. Huolimatta suurista pitoisuuseroista kummassakin mallissa merkittävimmät pitoisuuksiin vaikuttavat lähteet (v.2020) olivat liikenteen ei-pakokaasumaiset päästöt (50 %, SILAM-mallilla laskettuna) ja toissijainen lämmitys (23 %, SILAM). Merkittävin syy suurin eroihin pitoisuuksissa oli mallien erilaisessa spatiaalisessa resoluutiossa. Paikallisen tason malli huomioi mm. pitoisuuksien vaihtelun tarkemmin alueilla joilla väestön tiheys on suurempi. (Karvosenoja ym. 2011).

Valliuksen ym. (2008) ja Yli-Tuomen ym. (2008) tutkimuksissa pölyn, merisuolan ja määrittelemättömistä ihmisperäisistä lähteistä olevat osuudet arvioitiin lähes samansuuruisiksi (Taulukko 8). Määrittelemättömät lähteet ovat näissä tapauksissa kaukokulkeumaa (teollisuus, liikenne, maatalous, laivaliikenne). Liikenteestä ja teollisuudesta peräisin olevat osuudet arvioitiin puolestaan selvästi erisuuruiseksi. Huolimatta siitä, että mainituissa menetelmissä pitoisuuksia on mitattu samassa paikassa ja pääosin samaan aikaan, voivat lähteiden osuudet vaihdella paljonkin, johtuen lähdeosuuksien määrittelyyn käytettyjen menetelmien eroavaisuuksista.

Taulukko 8. Eräitä Suomessa tehtyjä PM_{2,5} ja PM₁₀-pitoisuuksien lähde-erittelyitä. Virolahden aineisto edustaa maaseututaustaa, muut tutkimukset kuvaavat kaupunkiympäristöjä.

Tutkimus	Jakso	Pitoisuus µg/m ³	Merisuola %	Pöly %	Liikenne %	Teollisuus %	Biomassan poltto %	Määrittelemätön* %	Menetelmä(t)	
1) Kuopio	1/1994-4/1994	PM ₁₀	27,2		46–48	10–14	12–18	11	15–25	FA, MLR
2) Virolahti	1/2007-9/2008	PM ₁₀	9,9	12	38			50		PMF
3) Helsinki	10/1996-12/1997	PM _{2,5}	9,6		21	25	29		25	PCA
4) Helsinki	11/1998-4/1999	PM _{2,5}	12,8	2	5	19	14		58	PCA,MLR, APCS
5) Helsinki	1/1999-4/1999	PM _{2,5}	13,4	3	7	5	36		49	ME

*liikenne, pienpoltto, energiantuotanto, teollisuus, laivaus, maatalous

1) Hosiokangas ym. 1999, 2) Vestenius ym. 2011, 3) Ilacqua ym. 2007, 4) Vallius ym. 2008, 5) Yli-Tuomi ym. 2008

EXPOLIS-projektissa ulkoilman pienhiukkaspitoisuuksia mitattiin pääkaupunkiseudulla vuosina 1996–97 kaikkiaan 201 satunnaisesti valitussa työikäisen väestön kodissa 2 vrk ajan. Alkuaineanalyysit tehtiin 98 kodissa mitatuille suodattimille ja mitattujen PM_{2,5} –pitoisuuksien keskiarvo oli kahteen aiemmin mainittuun tutkimukseen verrattuna selvästi pienempi (9,6 µg/m³) (Ilacqua ym. 2007). Ilacquan tutkimuksessa lähdeosuuksien määrittelyyn käytettiin PCA-menetelmää ja varsinkin pölyn ja määrittelemättömien ihmisperäisten lähteiden osuudet poikkesivat selvästi Valliuksen ja Yli-Tuomen tutkimuksiin verrattuna. Pitoisuuksia mitattiin tässä työssä useammassa kohteessa, mutta selvästi lyhyemmän ajan. Pienhiukkaspitoisuus kuvaa siten alueellisesti paremmin ihmisten altistustasoa Helsingissä, mutta

ajallisesti mittaukset ovat kestäneet lyhyen aikaa. Tosin Valliuksen ja Yli-Tuomen mittauksis-
sakaan ajallinen kattavuus ei ole turhan suuri.

3. TYÖN TAVOITTEET

Tämän työn tavoitteena on arvioida kotimaisten päästölähteiden sekä kaukokulkeuman osuus terveyden kannalta merkittävimpien ilmansaasteiden (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ ja SO₂) väestöpainotetuista kokonaispitoisuuksista, mittausverkoston aineistoa käyttämällä. Lähdeosuuksien arviointi tehdään ilmanlaadun mittausverkoston vuonna 2013 tuottaman aineiston avulla. Tulosten perusteella arvioidaan ilmanlaadun mittausverkoston soveltuvuutta ilmansaastealtistusten arvioinnissa ja päästölähteiden tunnistamisessa.

Työn toteuttamiseksi opinnäytetyön erityisinä tavoitteina on:

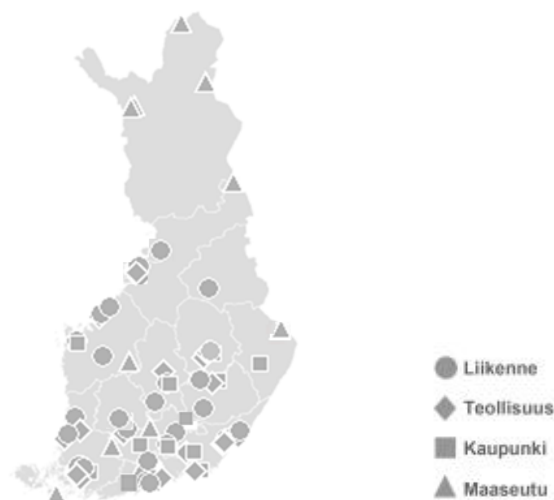
1. Määrittää maaseudun tausta-asemien mittausten perusteella ilmansaasteiden kaukokulkeuman taso ja arvioida sen alueellista vaihtelua Suomessa vuonna 2013
2. Arvioida kotimaisten lähteiden aiheuttamat väestöpainotetut vuosipitoisuudet
3. Tutkia liikenteen ja puunpolton päästöjen vaikutuksia paikalliseen ilmanlaatuun valituilla esimerkkiasemilla
4. Arvioida paikallisten ja alueellisten sekä kaukokulkeuman pitoisuuksien lähdealueita

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä työssä arvioitiin kotimaisten lähteiden sekä kaukokulkeuman osuudet ulkoilman epäpuhtauksien väestöpainotetuista pitoisuuksista. Altistukset ja lähdeosuudet arvioitiin ilmanlaadun mittaustuloksia hyödyntäen. Väestöpainotettujen pitoisuuksien laskennassa käytettiin asemakohtaisessa tarkastelussa tuotettuja lähde-erittelyn tuloksia. Lähdeosuudet arvioitiin asemakohtaisesti niiden pitoisuuksissa tapahtuvien ajallisten vaihteluiden sekä kuntakohtaisesti määritellyn kaukokulkeuman pitoisuuden perusteella. Käytetty menetelmä perustui soveltaen kirjallisuuskatsauksessa esiteltyihin Lenschowin ym. (2001) ja Pakkasen ym. (2000) lähdeosuuksien määrittämisessä käyttämiin menetelmiin. Altistukset ja lähdeosuudet arvioitiin vuoden 2013 mittausaineistosta.

4.1. ILMANLAADUN MITTAUSVERKOSTO VUONNA 2013

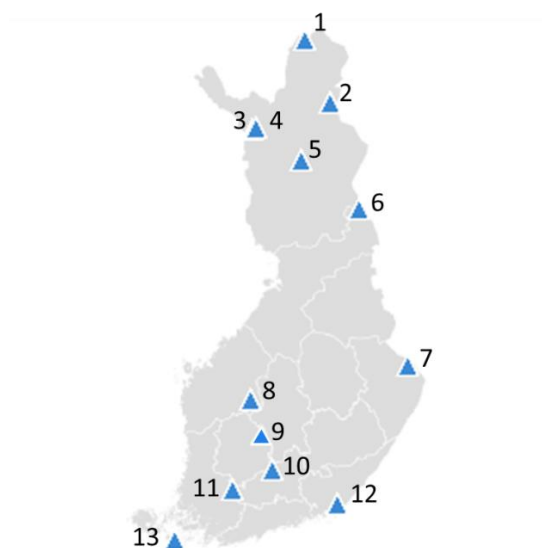
Vuonna 2013 mittauksia suoritettiin 52 paikkakunnalla yhteensä 103 mittausasemalla (Kuva 5, liite 1). Tiedot mittauksista on kerätty ilmanlaatuportaaliin. Mittauksia ylläpitävät kunnat, Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä (HSY), Ilmatieteen laitos sekä teollisuus. Mittausasemat luokitellaan aseman sijainnin (kaupunki, esikaupunki tai maaseutu) ja hallitsevan päästötyypin (liikenne, teollisuus tai tausta) mukaan jakaen asemat yhdeksään erilliseen luokkaan. Syntyvää sanaparia käytetään kuvaamaan aseman lähiympäristöä päästöineen (esim. kaupunkitausta), joka auttaa asemien keskinäisessä vertailussa. Samaa luokittelua käytetään koko EU:n alueella. (Ilmanlaatuportaali 2016).



Kuva 5. Ilmanlaadun mittausasemien tyypit ja verkoston alueellinen kattavuus Suomessa (Ilmanlaatuportaali 2016).

4.1.1. Tausta-asemien mittaukset

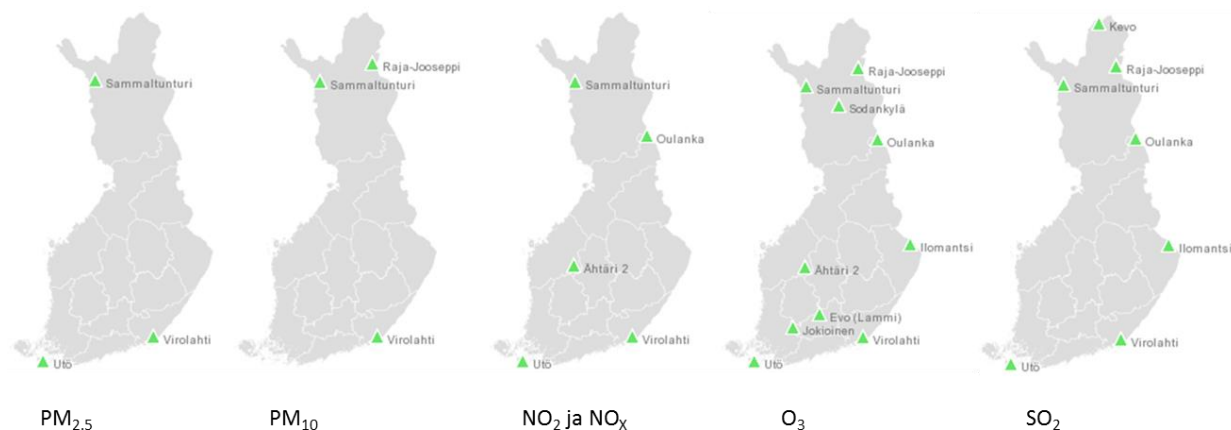
Ilmatieteen laitos seuraa ilmanlaatua maaseudun tausta-alueilla EY direktiivin mukaisesti (2008/50/EY). Vuonna 2013 mittauksia suoritettiin 13 mittausasemalla (Kuva 6 ja Taulukko 9) (Ilmanlaatuportaali 2016).



Kuva 6. Ilmanlaadun tausta-asetat vuonna 2013 (Ilmanlaatuportaali 2016).

Taulukko 9. Ilmatieteen laitoksen maaseudun taustamittausasemat ja niillä mitatut komponentit vuonna 2013 (Ilmanlaatuportaali 2016).

	Kunta	Asema	Hiukkaset ja komponentit	Kaasumaiset
1	Utsjoki	Kevo		SO ₂
2	Inari	Raja-Jooseppi	PM ₁₀	O ₃ , SO ₂
3	Muonio	Sammaltunturi	PM ₁₀	NO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂ , C ₆ H ₆
4	Kittilä	Matorova	PM _{2,5}	As,Cd,Ni, B(a)P
5	Sodankylä	Sodankylä		O ₃
6	Kuusamo	Oulanka		NO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂
7	Ilomantsi	Ilomantsi		O ₃ , SO ₂
8	Ähtäri	Ähtäri2	As, Cd, Ni	NO ₂ , NO _x , O ₃
9	Juupajoki	Hyytiälä	B(a)P	
10	Hämeenlinna	Evo (Lammi)		O ₃
11	Jokioinen	Jokioinen		O ₃
12	Virolahti	Virolahti	PM _{2,5} PM ₁₀	As,Cd,Ni, B(a)P NO ₂ , NO _x , O ₃ , SO ₂
13	Parainen	Utö	PM _{2,5}	NO ₂ , NO _x , SO ₂ , O ₃



Kuva 7. Ilmatieteen laitoksen maaseututausta-asemien kattavuus tärkeimpien komponenttien osalta (Ilmanlaatuportaali 2016).

Otsonin (O₃) taustapitoisuuksia on mitattu Suomessa alueellisesti katsottuna tasaisimmin, kun taas rikkidioksidin (SO₂) taustamittaukset ovat painottuneet enimmäkseen itärajalle. Hiukkasten (PM_{2.5} ja PM₁₀) osalta taustamittauksia on suoritettu niukimmin ja ne ovat sijoittuneet eteläisimpään ja pohjoisimpaan Suomeen, eikä keskisessä Suomessa taustamittauksia suoriteta lainkaan (Kuva 7).

4.2. VÄESTÖPAINOTETTujen PITOISUUKSIEN ARVIOINTI

Väestöpainotetut pitoisuudet laskettiin käyttäen allokaatiomallia, jossa Suomi jaettiin altistus-tasoiltaan kolmeen eri luokkaan i) pääkaupunkiseutuun, ii) muihin kaupunkeihin, joissa yli 50 000 asukasta, sekä iii) maaseutuun (alle 50 000 as.) (Taulukko 10). Mallilla pyrittiin karkeasti kuvaamaan vaihtelua kotimaisten lähteiden tuottamissa pitoisuuksissa kuntien väestömäärän perusteella. Tällöin oletetaan, että sekä liikenteen että puulämmityksen päästöt korreloivat väestömäärän kanssa. Jokaiselle alueelle laskettiin pitoisuudet niillä sijainneiden mittausasemien vuosikeskiarvopitoisuuksien (liite 1.) ja väestön perusteella. Keskimääräiset väestöpainotetut pitoisuudet laskettiin painotettuna keskiarvona ja keskiarvon keskivirhe Cochranin yhtälöä käyttäen (Gatz & Smith 1995).

Altistusten arvioinnissa käytettiin ensisijaisesti esi- ja kaupunkitausta-asemia, mutta laskuissa käytettiin liikenne-, teollisuus- ja maaseututausta-asemia, jos niiden pitoisuudet eivät poikenneet merkittävästi kaupunkien taustapitoisuuksista (liitteet 1-1.4.).

Taulukko 10. Suomen kuntien jako kolmiportaiseen allokaatiomalliin sekä niiden väestön yhteismäärä vuonna 2013.

2013	Väestö milj.	Kuntien	Kunnat
Pääkaupunkiseutu	1,1	4	Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen
Muut kaupungit (yli 50 000 as.)	1,7	17	Tampere, Oulu, Turku, Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Kouvola, Pori, Joensuu, Lappeenranta, Hämeenlinna, Vaasa, Rovaniemi, Seinäjoki, Mikkeli, Kotka, Salo
Maaseutu	2,7	296	alle 50 000 asukkaan kunnat
Yhteensä	5,5	317	

Pienhiukkasten pitoisuuksien arviointiin käytettiin 23 aseman mittauksia. Arvioinnista jätettiin pois neljän maaseututausta-aseman lisäksi Katajannokan ja Kotkassa sijaitsevan Hamina-Kotkan satama sekä Imatran Teppanalan ja Jyväskylän Lyseo 2 mittausasemat, joista kahdessa jälkimmäisessä lähteiden määrittämiseen käytetty menetelmä ei toiminut odotetunlaisesti. Katajannokalla aseman päästötyyppi oli määritelty tuntemattomaksi ja Kotkan satamassa vuosikeskiarvo oli $10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ollen selkeästi muiden asemien pitoisuuksia korkeampi. Suuremmalla asemien karsimisella ei olisi ollut enää suurta vaikutusta väestöpainotettuun pitoisuuteen, verrattaessa siihen jos olisi käytetty pelkästään esikaupunki- ja kaupunkitausta-asemia.

Hengitettävien hiukkasten altistuksen arvioinnissa käytettiin 11 sekä typpidioksidin pitoisuuksien arvioinnissa 16 esikaupunki- ja kaupunkitausta-aseman mittauksia. Rikkidioksidin altistus arvioitiin 17 aseman mittauksia käyttäen. Altistuksen arvioinnista jätettiin pois teollisuusympäristöissä ja satamien läheisyydessä sijainneet asemat.

4.3. ALTISTUSTEN JAKO LÄHDEOSUUKSIIN

Lähteiden alkuperät jaettiin kolmeen eri luokkaan paikalliseen, alueelliseen ja kaukokulkeuma komponenttiin. Väestöpainotetut lähdeosuudet arvioitiin laskemalla paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman keskiarvopitoisuudet alueittain, edellisessä luvussa mainittua allokaatiomallia käyttäen. Paikallisten ja alueellisten lähteiden pitoisuusosuudet alueille laskettiin käyttäen samoja mittausasemia kuin altistustasojen arvioinnissa. Kaukokulkeuma kulkeutuu alueelle laskettiin kunnille arvioituista kaukokulkeuman pitoisuuksista.

Paikallisten ja alueellisten lähteiden pitoisuudet määritettiin mittausasemakohtaisesti aikasarja-analyysin ja kuntatasolle määritetyn kaukokulkeuman pitoisuuden perusteella. Koko Suomea koskevien lähdeosuuksien määrittämisessä arvioitiin ainoastaan päästöjen syntysijaintia, mutta yleisimmin pitoisuudet ovat sekoitus liikenteen, puun pienpolton, energiantuotannon ja teollisuuden päästöjä.

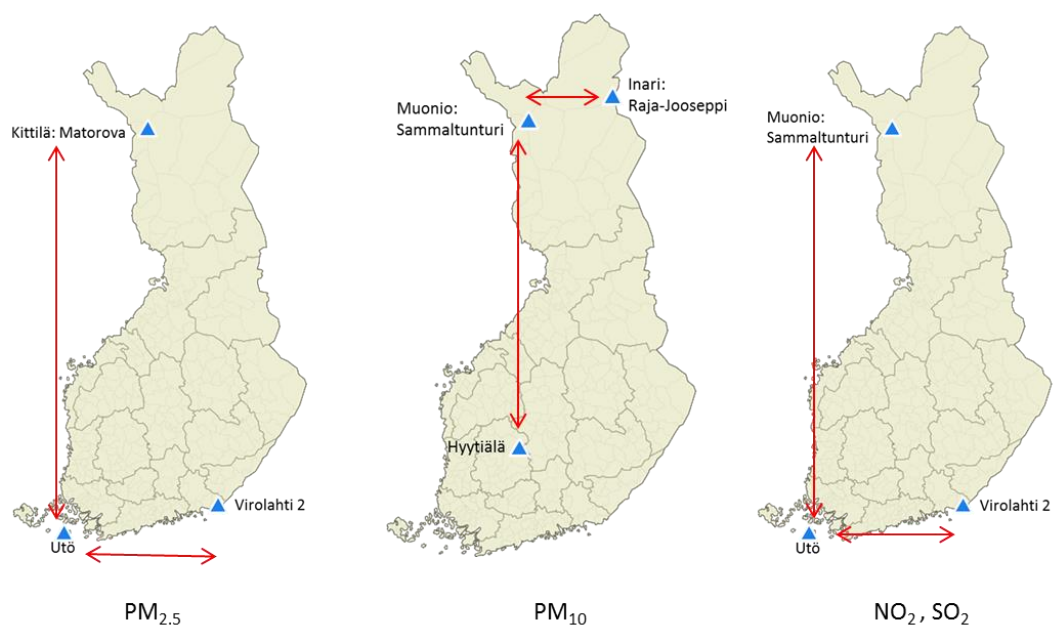
Kotimaisten lähteiden ja kaukokulkeuman erottamiseksi sekä näiden osuuksien määrittämiseksi käytettiin kolmea eri pitoisuutta: Mittausaseman vuosikeskiarvoa, mittausaseman viikkotuntiprofiilin pienintä tuntikeskiarvoa ja kuntakohtaisesti määriteltyä maaseututaustapitoisuutta, jotka laskettiin käyttäen vuoden 2013 tuntipitoisuusaineistoa. Mittausaseman vuosikeskiarvo kuvastaa keskimääräistä ilmansaasteen pitoisuutta alueella. Viikon pienin tuntikeskiarvo kuvasi paikallista tasoa, jonka alle pitoisuustasot eivät keskimäärin laske ja mihin paikalliset päästöt vaikuttavat vähiten. Maaseututausta määritettiin kuntakohtaisesti maaseututausta-asemien mittauksiin pohjautuen ja määritetty pitoisuus kuvasti alueen ulkopuolelta tulevaa pitoisuutta ts. kaukokulkeumaa.

Paikallisesta lähteestä peräisin olevat pitoisuudet laskettiin vähentämällä vuosikeskiarvosta viikkotuntiprofiilin pienin tuntikeskiarvo (yhtälö 3). Alueellisten lähteiden pitoisuudet laskettiin vähentämällä viikkotuntiprofiilin pienimmästä tuntikeskiarvosta (yhtälö 4) kuntakohtainen maaseututaustapitoisuus.

$$[\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{min.(h_{1-24} * 52_{ma-su})}] \quad (3)$$

$$[\bar{X}_{min.(h_{1-24} * 52_{ma-su})}] - [maaseututausta] \quad (4)$$

Kaukokulkeumakomponentti arvioitiin käyttäen maaseututausta-asemia ja olettaen kaukokulkeumapitoisuuksien noudattavan käänteisen etäisyyden avulla muodostettua regressiopintaa. Päästöjen oletettuna lähteenä kokeiltiin useita eri pisteitä, kuten Berliini, Gdansk, Moskova ja Minsk sekä lisäksi testattiin myös leveys- ja pituuspiirejä kaukokulkeuman mallintamiseen. Keski-Euroopasta tulevien päästöjen vaikutus mallinnettiin lopulta käyttämällä etäisyytenä leveyspiiriä 54 (Minsk-Rostock linja) ja idästä tulevien päästöjen lähteenä pituuspiiriä 33 (Murmansk-Laatokan itäranta). Mallissa käytettiin kolmen maaseudun tausta-aseman pitoisuuksia kuvaamaan pitoisuusvaihtelua etelä-pohjoissuunnassa ja itä-länsisuunnassa (Kuva 8). Mallin pohjalta kaukokulkeuman pitoisuudet ekstrapoloitiin jokaiselle Suomen kunnalle.



Kuva 8. Kaukokulkeuman määrittämisessä käytetyt taustamittausasemat ja asemaparit (punainen nuoli) kaukokulkeuman osuuden määrittämiseksi hiukkasille (PM_{2.5} ja PM₁₀), typpidioksidille (NO₂) ja rikkidioksidille (SO₂).

4.4. PAIKALLISEN LÄHTEEN TUNNISTAMINEN VALITUILLA ASEMILLA

Paikallisia päästöjä arvioitiin aseman tyyppin mukaan niin, että liikenne- ja teollisuusasemien paikallisten lähteiden osuus oletetaan koostuvan kaikki mittausaseman alueen lähipäästöistä. Puunpolton vaikutuksia pitoisuuksiin arvioitiin asemilla joiden ensisijaisena päästön lähteenä mainittiin puun pienpoltto, oli vuonna 2013 kaikkiaan kaksi, jotka sijaitsivat pääkaupunkiseudulla Tapanilassa ja Kauniaisissa. Lisäksi Vartiokylässä mainittiin puun pienpoltto tärkeimpänä päästölähteenä tieliikenteen ohella. Muun Suomen osalta pienpoltto mainittiin toisena päästölähteenä Lappeenrannan Tirilässä, kun tärkeimpänä päästölähteenä pidettiin tuotantoprosesseja (puunjalostusteollisuus). (Ilmanlaatuportaali 2016).

Alueellisten päästölähteiden oletettiin olevan peräisin yhtenäiseltä rakennetulta alueelta (taajama-alueelta), joiden päästöt ovat yleisimmin peräisin liikenteestä, puun pienpoltosta, energiantuotannosta tai teollisuudesta. Kaukokulkeuma on pitoisuus, mikä syntyy paikallisten ja alueellisten päästölähteiden ulkopuolella. Useimmiten ajatellaan, että kaukokulkeutuneet

saasteet ovat peräisin valtion rajojen ulkopuolelta, vaikka todennäköisesti tähän vaikuttavat myös kotimaan päästöt.

4.5. PAIKALLISTEN JA ALUEELLISTEN LÄHTEIDEN SEKÄ KAUKOKULKEUMAN SYNTYSIJAINTIEN ARVIOINTI

Paikallisten ja alueellisten päästöjen sijainti määritettiin karkeasti arvioimalla pienhiukkasten leviämisenopeus Helsingissä sijaitsevan Kumpulan sääaseman tuulimittauksia sekä pääkaupunkiseudulla sijaitsevia mittausasemia käyttäen. Leviämisenopeus määritettiin Helsingin keskustan ja Luukin mittausaseman välisen etäisyyden ja keskimääräisen tuulennopeuden perusteella (Taulukko 11), ja kun tuuli on ollut idän ja etelän välistä, eli Luukin asemalta katsoen siitä suunnasta missä pääkaupunkiseutu sijaitsee. Kaukokulkeuman lähdealueita arvioitiin tuulen suunnan ja nopeuden sekä Luukin pienhiukkasten tuntipitoisuusaineistoja käyttäen ja analysoitiin R-ohjelman openair pakettia käyttäen (Carslaw & Ropkins 2012). Vuoden 2013 tuulen suunta ja nopeus tiedot koottiin Ilmatieteen laitoksen avoin data -palvelusta (Ilmatieteen laitos 2015), Helsingissä sijaitsevalta Kumpulan sääasemalta.

Taulukko 11. Keskimääräinen tuulennopeus (m/s) ja teoreettinen ilmamassan kulkeutuminen 4 tunnin aikajänteellä.

		1h	2h	3h	4h
	m/s (km/h)	km	km	km	km
ka-sd	2,5 (8,9)	9	18	27	36
ka	4,4 (15,8)	16	32	48	63
ka+sd	6,3 (22,8)	23	46	68	91

5. TULOKSET

Väestöpainotetut pitoisuudet arvioitiin neljälle ulkoilman saasteelle (PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, SO₂) 3-portaisella allokaatiomallilla alueilla asuvan väestön ja mittausasemien pitoisuuksien perusteella. Altistuksen alkuperä jaettiin kolmeen luokkaan, paikallisiin, alueellisiin ja kaukokulkeutuneisiin osuuksiin käyttäen Lenschow:n asematyyppeihin perustuvaa menetelmää aikasarja-analyysillä täydentäen.

5.1. VÄESTÖPAINOTETUT PITOISUUSARVIOT

Pienhiukkasten väestöpainotetun ulkoilmapitoisuuden arvioitiin olevan noin 6,5 µg/m³ (Taulukko 12). Mitatut pitoisuudet pääkaupunkiseudulla olivat noin 16–23 % suuremmat kuin pienempien kaupunkien ja maaseudun pitoisuudet. Pääkaupunkiseudulla pitoisuudet olivat maan korkeimpia muutamissa puunpolto- ja liikenneympäristöissä, joissa vuosikeskiarvot kohosivat yli 8 µg/m³. Näin korkeisiin vuosikeskiarvoihin ei muualla maassa päästy vuonna 2013, lukuun ottamatta Kotkan satamassa mitattua pitoisuutta (10,8 µg/m³), jonka pitoisuutta ei kuitenkaan väestön altistuksen arvioinnissa käytetty.

Hengitettävien hiukkasten väestöpainotettu pitoisuus oli noin 10,7 µg/m³ ja mitatut pitoisuudet olivat noin 10–20 % suuremmat pääkaupunkiseudulla muiden alueiden altistuksiin verrattuna. Laskennassa käytetyillä 11 esikaupunki- ja kaupunkitausta- asemalla vuosikeskiarvopitoisuudet vaihtelivat Vaasan vesitornin 8,1 µg/m³ Hämeenlinnan Niittykadun 14 µg/m³.

Typidioksidin väestöpainotetun pitoisuuden arvioitiin olevan noin 12 µg/m³. Arvion luottamusväli oli noin 9–15 µg/m³ ja oli arvioiduista ilmansaasteista suurin. Pitoisuudet olivat yli 50 % suuremmat pääkaupunkiseudulla kuin maaseudulla ja noin 20 % suuremmat kuin muissa kaupungeissa. Liikenne suuremmissa kaupungeissa on vilkkaampaa ja on todennäköisin syy myös niiden korkeampiin pitoisuuksiin ja selittää myös suuren pitoisuusvaihtelun alueiden välillä. Rikkidioksidin väestöpainotetuksi pitoisuudeksi arvioitiin noin 1 µg/m³ ja pitoisuuden arvioitiin olevan 50 % suurempi pääkaupunkiseudulla muun Suomen pitoisuuksiin verrattuna. Muissa kaupungeissa ja maaseudulla altistustasot olivat samaa suuruusluokkaa.

Taulukko 12. Väestön altistusarviot neljälle ilmansaasteelle 3-portaisella allokatiomallilla arvioituna. Alueiden pitoisuudet on laskettu niihin kuuluvien mittausasemien vuosikeskiarvoista.

	Pääkaupunkis.		Muut kaupungit ¹		Maaseutu ²		Koko väestö		
	milj.	%	milj.	%	milj.	%	milj.	95 % CI	%
Väestö	1,1	20 %	1,7	31 %	2,7	49 %	5,5	–	100 %
Altistus	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	n	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	n	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	n	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	n
PM_{2.5}	7,6	8	6,5	11	6,1	4	6,5	5,8–7,2	23
PM₁₀	12,0	2	11,0	7	10,0	2	10,7	9,7–11,8	11
NO₂	15,4	4	13,1	9	10,0	3	12,0	9,0–15,1	16
SO₂	1,28	2	0,85	5	0,88	10	0,95	0,75–1,15	17

1) kunnassa yli 50 000 asukasta, 2) tai alle 50 000 asukasta,

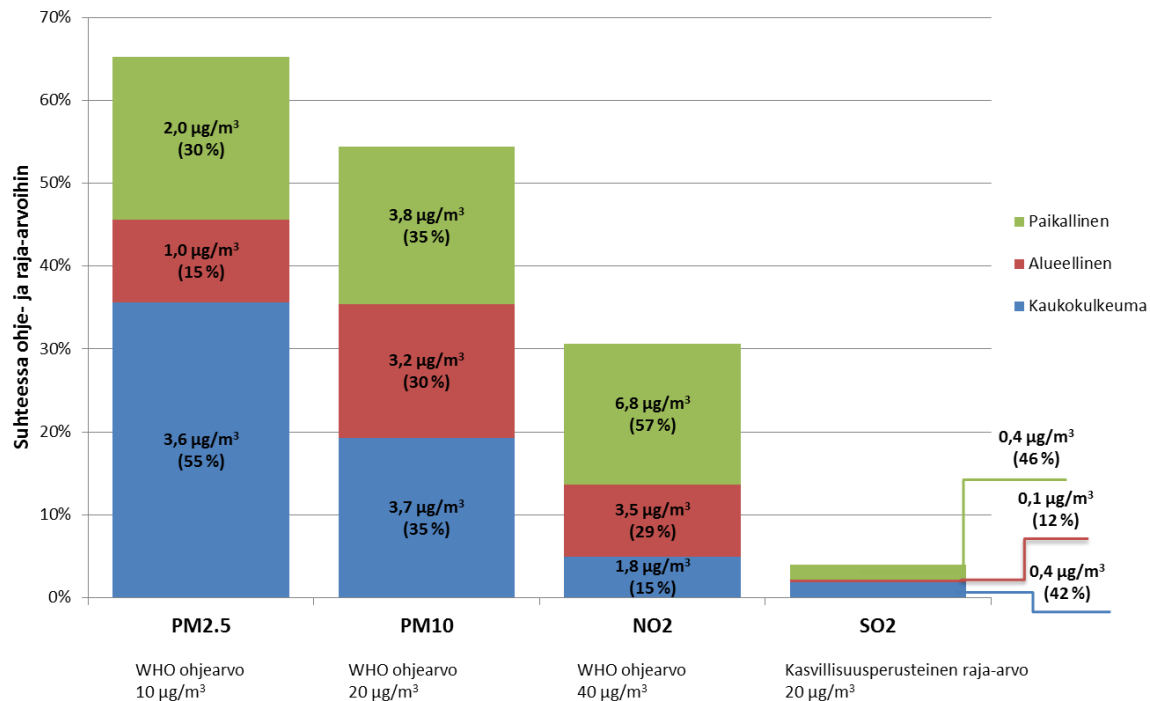
n = kuhunkin arvioon sisältyvien mittausasemien lukumäärä

Tässä työssä määritettyjen ilmansaasteiden väestöpainotettujen pitoisuuksien korkeimmat altistukset mitattiin pääkaupunkiseudulla ja pitoisuudet olivat pienempiin kaupunkeihin ja maaseutuun verrattuna 10–50 % suurempia. Hiukkasten väestöpainotetut altistustasot näyttävät vaihtelevan kaupunkien ja maaseudun välillä suhteellisen vähän. Typpidioksidin pitoisuudet ovat selvästi korkeammat maaseutua suuremmissa kaupungeissa ja pääkaupunkiseudulla. Tässä työssä ei kuitenkaan voitu tarkastella yksittäisten kaupunkien sisällä esiintyvää pitoisuusvaihtelua, jonka vaikutus näistä luvuista puuttuu. Rikkidioksidin altistukset olivat Suomessa kokonaisuudessaan erittäin pienet.

5.2. ALTISTUSTEN LÄHDEOSUUDET

Kaukokulkeuman osuus vaihtelee voimakkaasti ollen pienhiukkasille yli puolet kokonaisaltistuksesta ja typpidioksidilla alle viidesosa (Kuva 9). Kaukokulkeuman vaikutus väestön altistuksiin onkin selkeästi suurin pienhiukkasten osalta muihin ilmansaasteisiin verrattaessa. Pienhiukkasaltistuksen paikallisten lähteiden osuus kokonaisaltistuksesta on noin kolmannes. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudesta paikalliset ja alueelliset lähteet olivat merkittävämmässä roolissa, kaukokulkeuman muodostaessa noin kolmanneksen kokonaisaltistuksesta. Hengitettävien hiukkasten kaukokulkeuma näyttää muodostuvan suoraan PM_{2.5} kaukokulkeumasta tason ollessa lähes sama (3,6–3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Paikallisten lähteiden osuus hengitettävien hiukkasten kokonaispitoisuudesta oli samaa suuruusluokkaa kuin pienhiukkasten paikallisten lähteiden osuus altistuksesta (35 ja 30 %). Typpidioksidin altistuksesta yli puolet muodos-

tui paikallisista lähteistä, josta suurin osa selittynee liikenteen päästöillä. Kaukokulkeumassa typpidioksidi muuntuu nitraateiksi ja ilmenee hiukkasfraktiossa; kaukokulkeuman osuus kaasumaisesta kokonaisaltistuksesta oli vain noin kuudesosa.



Kuva 9. Väestöaltistuksen jakautuminen alueellisiin lähdeluokkiin, suhteutettuna vuosipitoisuuksien ohje - (PM_{2.5}, PM₁₀ ja NO₂) ja raja-arvoihin (SO₂) vuonna 2013. Pitoisuuksien (µg/m³) alla suluissa esitetty lähteosuudet prosentteina arvioidusta kokonaisaltistuksesta.

Altistuspitoisuuksien suhde terveisperusteisiin asetettuihin ohje- ja raja-arvoihin vaihteli 30 %:sta 65 %:iin. Hiukkasten altistustasot olivat selvästi lähimpänä säädettyjä WHO:n terveisperusteisia ohje- ja raja-arvoja. Pienhiukkasten kokonaisaltistus oli noin kaksi kolmasosaa WHO:n ohje- ja raja-arvosta, josta kaukokulkeuma muodosti suurimman osuuden. Hengitettävien hiukkasten altistus oli hieman yli puolet ohje- ja raja-arvosta, josta kaukokulkeuman sekä paikallisten ja alueellisten lähteiden osuudet olivat samaa suuruusluokkaa. Typpidioksidin kokonaisaltistustaso oli vain noin kolmanneksen ohje- ja raja-arvosta ja noin 15 % ohje- ja raja-arvosta muodostui paikallisista lähteistä ja vain noin 5 % johtui kaukokulkeumasta. Rikkidioksidin altistustaso Suomessa oli kokonaisuudessaan erittäin pieni ja pitkäaikaisvaikutuksille säädetty vuosipitoisuus koskee vain kasvillisuuden suojelua. WHO:n asettama ohje- ja raja-arvo koskee rikkidioksidin kohdalla vain vuorokausipitoisuutta, joka on 20 µg/m³.

5.2.1. Pienhiukkasten alueellinen alkuperä

Pienhiukkasten kaukokulkeuman osuudet kokonaisaltistuksesta ovat suuruudeltaan samaa luokkaa pääkaupunkiseudulla, muissa kaupungeissa ja maaseudulla (Taulukko 13). Kaukokulkeumapitoisuuden arvioitiin olevan suurin eteläisimmässä Suomessa, josta johtuen pääkaupunkiseudun kaukokulkeuman pitoisuus on myös muuta maata suurempi. Paikallisten lähteiden osuudet olivat kotimaisista lähteistä merkittävimmät pääkaupunkiseudulla ja maaseudulla. Muissa kaupungeissa alueellisten ja paikallisten lähteiden pitoisuudet olivat lähes samaa suuruusluokkaa paikallisten lähteiden aiheuttaman pitoisuuden ollessa noin 20 % alueellisia lähteitä korkeampi.

Taulukko 13. Väestöpainotetut arviot PM_{2.5} –altistuksen lähteiden jakautumisesta alueittain vuonna 2013.

PM _{2.5}	Väestö	Altistus	Kuntia	Kaukok.	Asemia	Alueellinen	Paikallinen
	milj.	µg/m ³	n	µg/m ³	n	µg/m ³	µg/m ³
Pääkaupunkis.	1,1	7,6	4	4,1 (55 %)	8	0,9 (12 %)	2,5 (33 %)
Muut kaupungit	1,7	6,5	17	3,6 (56 %)	11	1,3 (20 %)	1,6 (24 %)
Maaseutu	2,7	6,1	296	3,3 (54 %)	4	0,8 (13 %)	2,0 (33 %)
Suomi	5,5	6,5	317	3,6 (55 %)	23	1,0 (15 %)	2,0 (30 %)
± SE, (%)		± 0,3(5,3 %)		± 0,2(5,8 %)		±0,2(16,2 %)	± 0,2(10,5 %)

5.2.2. Hengitettävien hiukkasten alueellinen alkuperä

Hengitettävien hiukkasten altistuksesta paikallisten lähteiden ja kaukokulkeuman suhteelliset osuudet olivat hieman suurempia maaseudulla ja pienemmissä kaupungeissa kuin pääkaupunkiseudulla, jossa alueellisten lähteiden osuus oli maksimissaan (37 %) (Taulukko 14). Alueellisten lähteiden osuus kokonaisaltistuksesta näyttää kasvavan kunnan koon kasvaessa. Kokonaisuudessaan jokaisen lähdekategorian osuus oli noin kolmannes kokonaisaltistuksesta.

Taulukko 14. Väestöpainotetut arviot PM₁₀ -altistuksen lähdeosuuksista vuonna 2013.

PM ₁₀	Väestö	Altistus	Kuntia	Kaukok.	Asemia	Alueellinen	Paikallinen
	milj.	µg/m ³	n	µg/m ³	n	µg/m ³	µg/m ³
Pääkaupunkis.	1,1	12,0	4	4,0 (33 %)	2	4,4 (37 %)	3,5 (30 %)
Muut kaupungit	1,7	11,0	17	3,7 (34 %)	7	3,4 (31 %)	3,9 (35 %)
Maaseutu	2,7	10,0	296	3,6 (36 %)	2	2,7 (26 %)	3,8 (38 %)
Suomi	5,5	10,7 (100 %)		3,7 (35 %)	11	3,2 (30 %)	3,8 (35 %)
± SE (%)		±0,5(4,8 %)		±0,1(2,7 %)		±0,5(14,2 %)	±0,1 (2,0 %)

5.2.3. Typpidioksidin alueellinen alkuperä

Typpidioksidin paikalliset lähteiden ja kaukokulkeuman suhteelliset osuudet kokonaisaltistuksesta olivat suurimmat ja alueellisten lähteiden pienimmät maaseudulla (Taulukko 15). Myös typpidioksidin kohdalla alueellisten lähteiden osuus kokonaisaltistuksista on suurempi isommissa kaupungeissa ja on mahdollisesti myös selitettävissä kaupunkien sisäisellä kuormituksella. Pääkaupunkiseudulla ja muissa kaupungeissa lähteiden osuudet kokonaisaltistuksista olivat samaa suuruusluokkaa.

Taulukko 15. Väestöpainotetut arviot NO₂ -altistuksen lähdeosuuksista vuonna 2013.

NO ₂	Väestö	Altistus	Kuntia	Kaukok.	Asemia	Alueellinen	Paikallinen
	milj.	µg/m ³	n	µg/m ³	n	µg/m ³	µg/m ³
Pääkaupunkis.	1,1	15,4	4	2,2 (15 %)	4	4,7 (30 %)	8,5 (55 %)
Muut kaupungit	1,7	13,1	17	1,7 (13 %)	9	4,3 (33 %)	7,1 (54 %)
Maaseutu	2,7	10,0	296	1,6 (20 %)	3	2,4 (24 %)	5,9 (60 %)
Suomi	5,5	12,0	317	1,8 (15 %)	16	3,5 (29 %)	6,8 (57 %)
± SE, %		±1,5(12,9 %)		±0,2(8,6 %)		±0,8(21,7 %)	±0,7(10 %)

5.2.4. Rikkidioksidin alueellinen alkuperä

Rikkidioksidin altistustasot olivat erittäin alhaiset koko maassa (Taulukko 16). Paikalliset lähteet olivat merkittävimmät pääkaupunkiseudulla ja maaseudulla muodostaen noin puolet kokonaisaltistuksesta. Muissa kaupungeissa merkittävin osuus oli peräisin kaukokulkeumasta, josta koostui noin puolet kokonaisaltistuksesta.

Taulukko 16. Väestöpainotetut arviot SO₂ –altistuksen lähdeosuuksista vuonna 2013.

SO ₂	Väestö	Altistus	Kuntia	Kaukok.	Asemia	Alueellinen	Paikallinen
	milj.	µg/m ³	n	µg/m ³	n	µg/m ³	µg/m ³
Pääkaupunkis.	1,1	1,28	4	0,44 (35 %)	2	0,19 (15 %)	0,64 (50 %)
Muut kaupungit	1,7	0,85	17	0,40 (48 %)	5	0,11 (13 %)	0,33 (40 %)
Maaseutu	2,7	0,88	296	0,38 (40 %)	10	0,09 (10 %)	0,42 (48 %)
Suomi	5,5	0,95	317	0,40 (42 %)	17	0,12 (12 %)	0,44 (46 %)
± SE, %		±0,1(10,4 %)		±0,03(6,4 %)		±0,03(22,6 %)	±0,07(14,9 %)

5.3. PAIKALLISTEN LÄHTEIDEN TUNNISTAMINEN VALITUILLA ASEMILLA

Tässä luvussa tarkastellaan tarkemmin eri ympäristöissä sijaitsevien pääkaupunkiseudun asemien pitoisuusajaksarjoja, erityisesti liikenteen ja puunpolton päästöjen erottelemiseksi. Kaukokulkeuman osuus pienhiukkasten kokonaispitoisuudesta vaihteli esimerkkiasemilla noin 50–70 % välillä ja oli isoin Luukissa (Taulukko 17). Tapanilassa ja Variston mittausasemalla kotimaiset lähteet muodostivat yhtä suuren osan altistuksesta kaukokulkeuman kanssa. Tapanilassa puunpolto ja Varistossa liikenne olivat merkittävimmät yksittäiset lähteet.

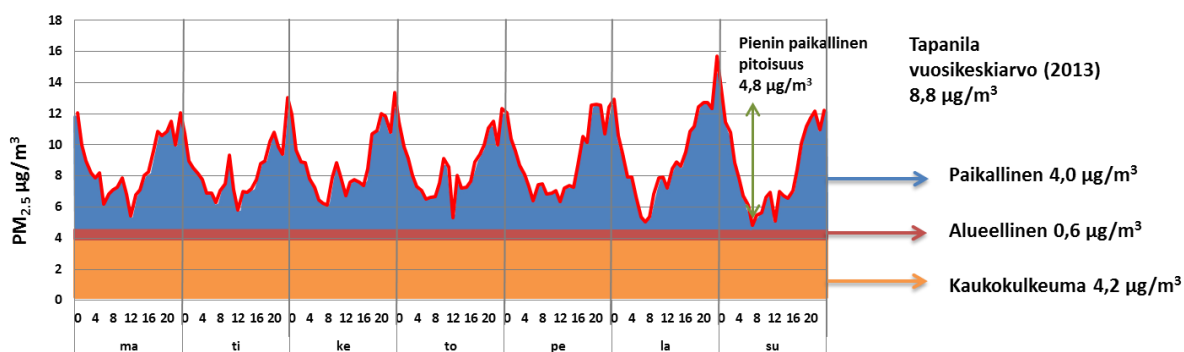
Taulukko 17. Alueellisten lähteiden pienhiukkaspitoisuudet eri ympäristöissä pääkaupunkiseudulla.

Kunta ja asema	Asematyyppi	\bar{x}_{2013} µg/m ³	Paikallinen µg/m ³	Alueellinen µg/m ³	Kaukokulkeuma µg/m ³
Helsinki, Tapanila	esikaupunki	8,8	4,0 (45 %)	0,6 (7 %)	4,2 (48 %)
Helsinki, Vartiokylä	esikaupunki	6,8	2,4 (36 %)	0,2 (3 %)	4,2 (61 %)
Vantaa, Kehä III Varisto	liikenne	8,3	2,9 (35 %)	1,3 (16 %)	4,2 (50 %)
Helsinki, Kallio 2	kaupunki	6,9	1,5 (21 %)	1,3 (18 %)	4,2 (60 %)
Espoo, Luukki	maaseutu	5,8	2,3 (39 %)	-0,6 (-10 %)	4,1 (70 %)

5.3.1. Puunpolttoympäristö (Tapanila, Helsinki)

Tapanilan esikaupunkitausta-aseman ympäristö on vähäliikenteinen ja siellä on runsaasti pientalo-asutusta. Alueella seurattiin puunpolton vaikutuksia ilmanlaatuun vuoden 2013 ajan. (Ilmanlaatuportaali 2016). Lähin vilkasliikenteisin tie (Päivöläntie) sijaitsee noin 100 metrin etäisyydellä mittausasemasta, jonka keskimääräinen arkivuorokausiliikenne oli noin 4 900 ajoneuvoa vuorokaudessa, josta raskaan liikenteen osuus 6 % (Malkki ym. 2014). Tapanilan pienhiukkasten vuosikeskiarvo vuonna 2013 oli $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, typpidioksidilla $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja typpimonoksidilla $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

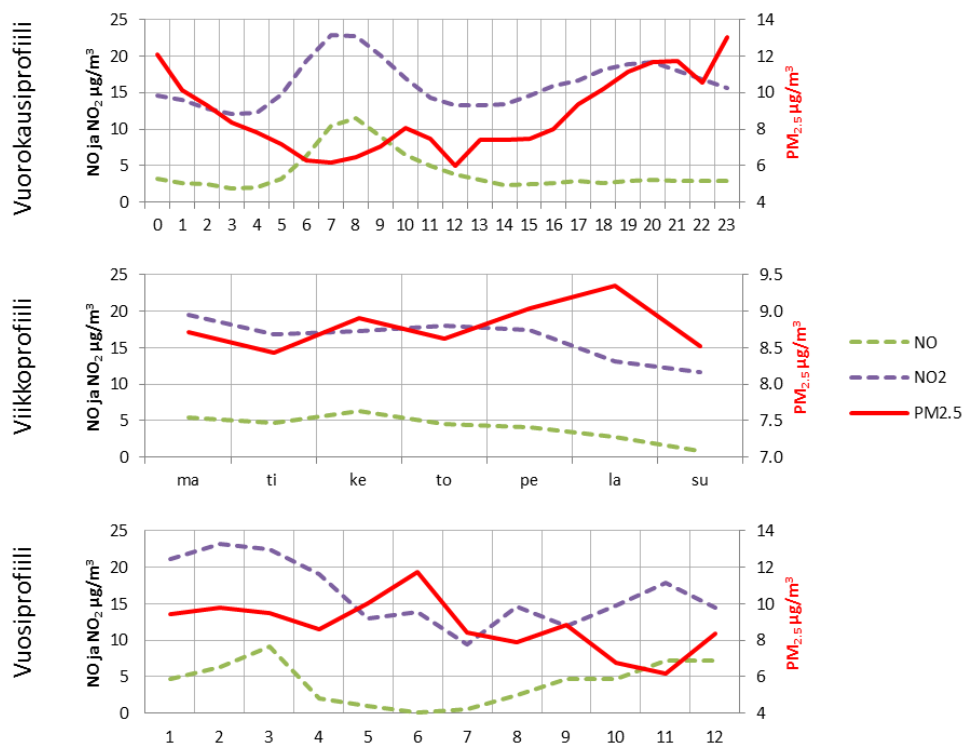
Tapanilassa pienhiukkasten paikallisten lähteiden osuus on noin $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joka on suurimmaksi osaksi peräisin puunpoltosta vuoden 2013 mittausaineistosta koostetun viikkotuntiprofiilin perusteella (Kuva 10, liite 2). Alueellisten päästöjen ja kaukokulkeuman osuus kokonaisaltistuksesta on $0,6$ ja $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Kuva 10. Tapanilan mittausaseman pienhiukkaspitoisuuden viikkotuntiprofiili vuoden 2013 mittaustuloksista koostettuna ja altistuksen jakautuminen lähteisiin.

Puunpolton lisäksi liikenteellä on todennäköisesti ainakin pieni vaikutus ilmansaasteiden kokonaispitoisuuksiin, sillä Tapanilan läheisyydessä 2-3 km:n säteellä sijaitsee vilkasliikenteisiä väyliä. Suurimmat väylät mittausasemalta ovat Kehä III Tapanilan mittausasemalta katsottuna pohjoisessa noin 2 km:n etäisyydellä. Tuusulanväylä lännessä, Kehä I etelässä ja Lahdenväylä idässä sijaitsevat puolestaan noin 3 km:n etäisyydellä mittausasemasta. Lisäksi noin reilun kilometrin päässä mittausasemasta itään päin sijaitsee Helsinki-Malmin lentoasema, joka laskeutumisten määrässä (n. 36 000 kpl) on Suomen toiseksi vilkkain lentoasema (Finavia 2016).

Pienhiukkasten pitoisuudet ovat korkeimmillaan iltaisin klo 16–23 sekä aamuisin klo 8 ja 10 välillä (Kuva 11), jotka ovat myös suosituimpia lämmitysjankohtia. Vuorokausipitoisuuksien vaihtelu Tapanilassa noudattaa pääosin samaa kaavaa viikonpäivästä ja vuodenajasta riippumatta, joka viittaa siihen, että puun poltto ei rajoitu lämmityskauteen (liite 3). Viikon pienin pitoisuus (keskimäärin $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) havaittiin sunnuntiaamuisin klo 7, jolloin pitoisuudet ovat olleet. Arkipäivisin pienin pitoisuus esiintyi yleensä klo 12, josta pitoisuus kasvaa yli kaksinkertaiseksi keskiyöhön mennessä. Viikon korkeimmat vuorokausipitoisuudet ajoittuvat perjantaihin ja lauantaihin sekä arkipäivistä keskiviikkoon, jotka ovat suosituimpia varaavien tulisijojen ja puukiukaiden lämmityspäiviä. Pienimmät $\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuudet viikon aikana ajoittuvat lauantai- ja sunnuntiaamuihin, jolloin liikennemäärät ovat alhaisempia verrattuna arki-aamuihin. Pitoisuudet ovat arki-aamuisin n. $1,0\text{--}1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korkeampia verrattuna viikonlopun aamuihin joten on todennäköistä, että osa arki-aamuisin tapahtuvasta pienhiukkasten pitoisuuden noususta ($1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) johtuu liikenteestä.



Kuva 11. Tapanilan esikaupunkitausta-aseman vuorokausi-, viikko- ja vuosiprofiili vuonna 2013.

$\text{PM}_{2.5}$ -pitoisuudet ovat suurimmillaan alkuvuodesta tammi-maaliskuun aikaan sekä alkukesästä touko-kesäkuussa (Kuva 12). Pienimmillään pitoisuudet ovat loka-marraskuussa, jolloin pitoisuudet ovat olleet vain noin puolet kesäkuun pitoisuudesta. Tapanilan mittausaseman NO_2 - ja NO -pitoisuudet kohoavat arki-aamuisin 6- ja 2-kertaisiksi aamuyön pienimmistä pi-

toisuuksista (liite 3). Typpidioksidin pitoisuudet kohoavat myös iltaisin, mutta typpimonoksidilla samanlaista nousua ei ole havaittavissa. Viikonloppuisin typen oksidien pitoisuudet ovat arkeen verrattuna pienempiä, eivätkä pitoisuudet juuri nouse aamuisin arkeen verrattuna, vaan korkeimmillaan pitoisuudet ovat iltaisin. Typen oksidien pitoisuuksien nousu arki-aamuisin ja yhtä selkeä piikin puuttuminen viikonloppuaamuisin viittaisi siihen, että arki-aamujen pitoisuudet ovat todennäköisesti suurimmaksi osaksi peräisin liikenteestä. Iltojen typpidioksidipitoisuuksien nousu on liikenteen lisäksi mahdollisesti peräisin myös puunpoltosta.

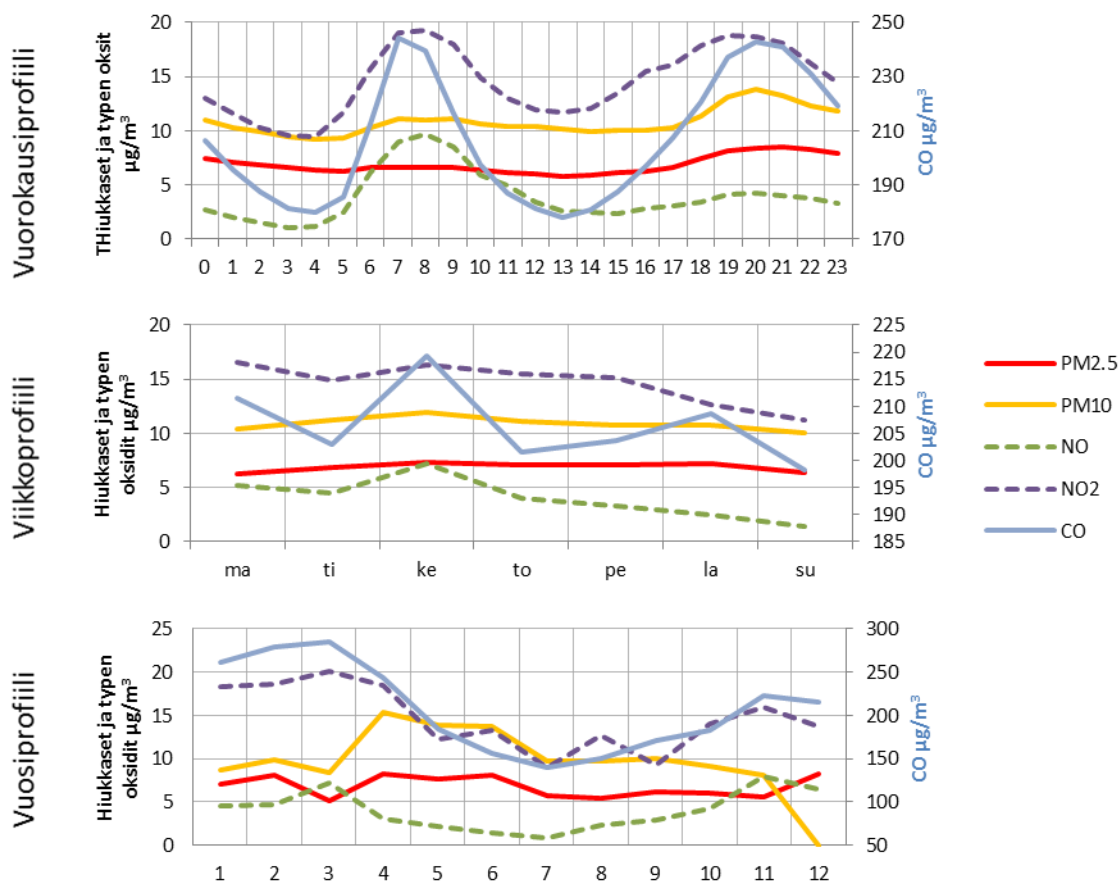
Suurimmat typen oksidien pitoisuudet ajoittuvat helmi-maaliskuuhun. Typpimonoksidin maaliskuun pitoisuuskeskiarvo oli noin 90-kertainen ja typpidioksidin helmikuun keskiarvo noin 2,5-kertainen kesäkuun ja heinäkuun pitoisuuksiin verrattuna, jolloin typen oksidien pitoisuudet ovat pienimmillään. Typpimonoksidin pitoisuudet ovat läpi vuoden Tapanilan mittausasemalla pienemmät kuin typpidioksidin. Havainto viittaisi siihen, että typen oksidit ovat kulkeutuneet mittausasemalle kauempaa, jonka aikana suuri osa typpimonoksidista on ehtinyt muuntua ja hapettua mm. typpidioksidiksi.

5.3.2. Puunpoltto- ja liikenneympäristö (Vartiokylä Huivipolku, Helsinki)

Vartiokylän esikaupunkitausta-asemalla seurataan ilmanlaatua pääkaupunkiseudun pientalo-alueilla, jossa pienpolton lisäksi ilmanlaatuun vaikuttaa lähialueen liikenne sekä alueellinen kulkeutuminen. Merkittävimmät ilmanlaatuun vaikuttavat tiet aseman lähistöllä ovat Riskutie (etäisyys 60 m), Itäväylä (750 m) ja Kehä I (1000 m), joiden keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät ovat 2 400 (raskas liikenne 9 %), 17 500 (6 %) ja 51 700 (5 %). (Ilmanlaatuportaali 2016). Vartiokylän pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus vuonna 2013 oli $6,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hengitettävien hiukkasten $10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, typpidioksidin $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, typpimonoksidin $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, otsonin $48,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hiilimonoksidin $206,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vartiokylän mittausaseman paikalliseksi pienhiukkaspitoisuudeksi arvioitiin $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä alueellisten päästöjen ja kaukokulkeuman osuus kokonaisaltistuksesta olivat 0,2 ja $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ asemakohtaisessa tarkastelussa (liite 2). $\text{PM}_{2,5}$ -pitoisuudet olivat korkeimmillaan iltaisin ja viikon minimipitoisuus ajoittui vuoden 2013 viikkoprofiilissa sunnuntaihin klo 14 (liite 3). Ylivoimaisesti korkeimmat tuntipitoisuudet ajoittuvat lauantai- ja keskiviikko-iltaan, jotka ovat myös suosituimmat saunomispäivät. Pitoisuudet lähtevät kohoamaan klo 16 aikaan ja

nousevat päivän korkeimpaan pitoisuuteen noin klo 20–21. Tämä on aikaväli jolloin lämmitetään yleensä eniten varaavia tulisijoja pääkaupunkiseudulla. PM_{2,5} -pitoisuuksiin vaikuttaa myös liikenne, sillä useimmiten liikenteestä peräisin olevien typen oksidien, hiilimonoksidin ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat samaan aikaan pienhiukkasten pitoisuuksiensa kanssa.



Kuva 12. Vartiokylän esikaupunkitausta-aseman vuorokausi-, viikko- ja vuosiprofiili vuonna 2013.

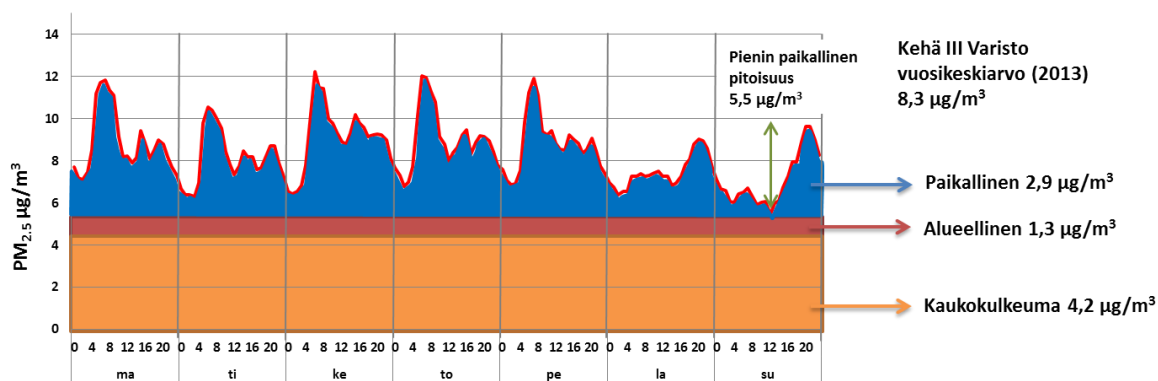
Suurimmillaan pienhiukkasten pitoisuudet ovat iltaisin ja selvästi korkein tuntipitoisuus ajoittuu lauantai-iltaan, jolloin pitoisuus on ollut n. 1,5–3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ suurempi muiden iltojen huippupitoisuuksiin verrattuna (liite 3). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat suurimmillaan iltaisin klo 20 tienoilla, mutta pitoisuudet ovat korkeita myös aamuisin. Typen oksidien pitoisuudet ovat korkeimmillaan aamulla sekä typpidioksidin pitoisuuksissa on pitoisuuspiikki myös iltaisin. Typpimonoksidin pitoisuudet eivät nouse yhtä merkittävästi. Arkisin hiukkasten ja typen oksidien pienimmät pitoisuudet ovat pienimmillään aamuöisin. Viikonloppuina hiuk-

kasten ja typen oksidien pitoisuudet ovat korkeimmillaan tyypillisesti iltaisin ja arki-aamujen kaltaisia pitoisuuspiikkejä ei ole.

Suurimmat pienhiukkasten kuukausipitoisuudet esiintyivät helmikuussa, huhti-kesäkuussa sekä joulukuussa (Kuva 12). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan huhti-kesäkuun aikana. Typen oksidien pitoisuudet ovat pienimmillään kesän kuukausina ja alkuvuoden 2013 NO₂ -pitoisuudet ovat olleet n. 1,5-2-kertaisia kesän kuukausiin verrattuna. Typpimonoksidin pitoisuudet ovat olleet 4-10 kertaa suurempia syksyn, talven ja kevään kuukausina.

5.3.3. Liikenneympäristö (Kehä III Varisto, Vantaa)

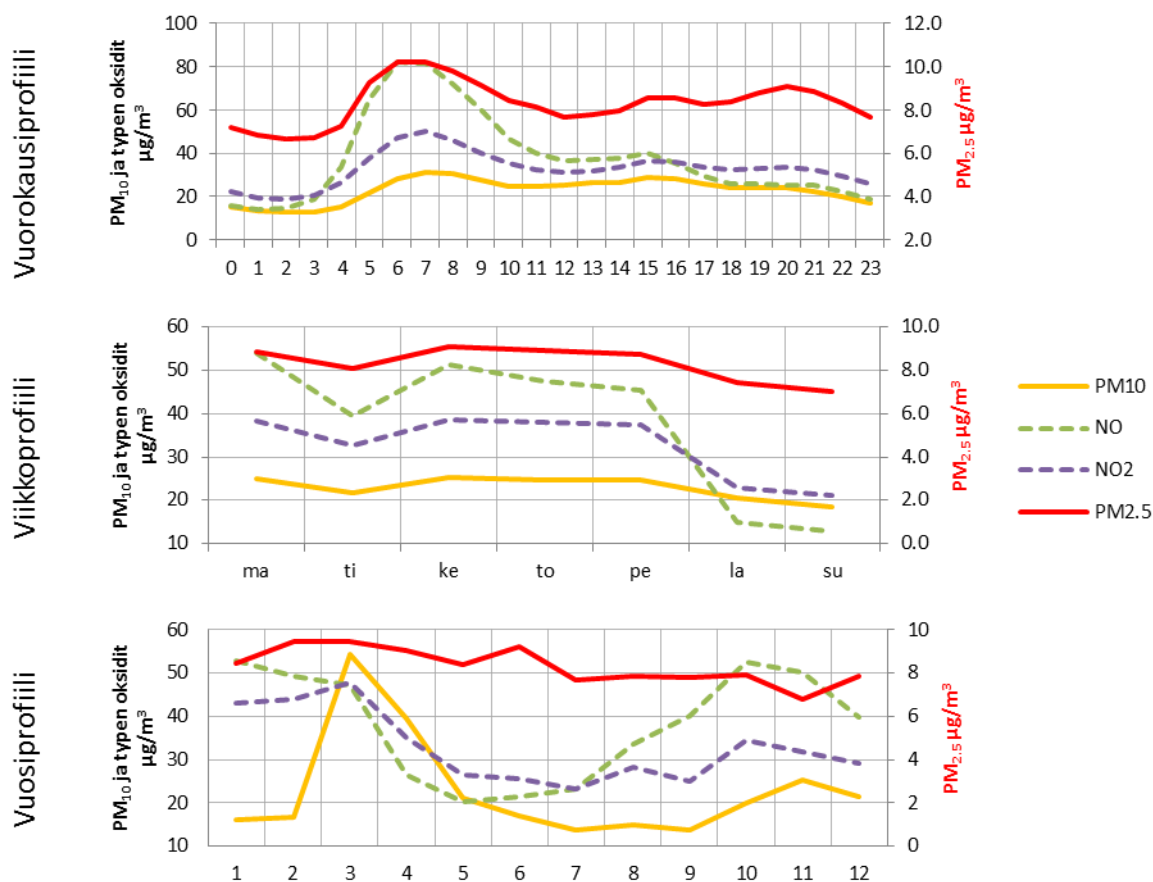
Variston mittausasemalla seurattiin ilmanlaatua vuonna 2013 vilkasliikenteisen Kehä III:n varrella. Liikennemäärä tiellä on n. 32 000 ajoneuvoa vuorokaudessa, josta raskaan liikenteen osuus on noin 12 %. (Ilmanlaatuportaali 2016). Variston mittausaseman pienhiukkasten vuosikeskiarvopitoisuus vuonna 2013 oli 8,3 µg/m³, hengitettävien hiukkasten 22,9 µg/m³, typpi-dioksidin 32,8 µg/m³ ja typpimonoksidin 37,3 µg/m³.



Kuva 13. Variston mittausaseman pienhiukkaspitoisuuden viikkotuntiprofiili vuoden 2013 mittaustuloksista koostettuna sekä altistuksen jakautuminen lähteisiin.

Variston mittausaseman paikalliseksi pienhiukkaspitoisuudeksi määritettiin 2,9 µg/m³ (Kuva 13). Alueellisten päästöjen ja kaukokulkeuman osuus kokonaispitoisuudesta oli 1,3 ja 4,2 µg/m³. Variston mittausaseman ilmanlaatuun vaikuttaa vuorokausi-, viikko-, ja vuosiprofiilien perusteella selkeimmin liikenne (Kuva 14). Päivän korkeimmat hiukkasten ja typen oksidien

pitoisuudet esiintyvät arkaamuaisin ja pienimmät aamuöisin. Toinen pitoisuushuippu ajoittuu iltapäivään klo 15–16 välille, hengitettävien hiukkasten ja typen oksidien kohdalla pitoisuuden nousut eivät ole yhtä voimakkaita kuin aamuaisin, mutta kuitenkin havaittavissa.

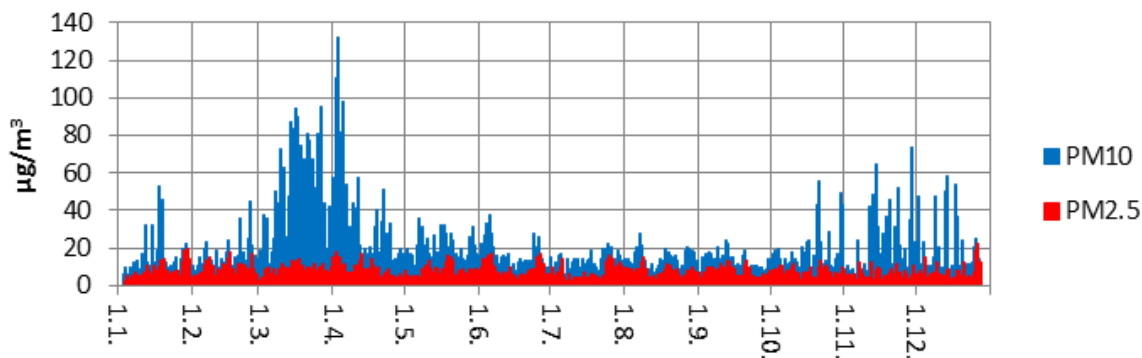


Kuva 14. Vantaan Kehä III Variston liikenneaseman vuorokausi-, viikko- ja vuosiprofiili vuonna 2013.

Pienhiukkaspitoisuuksilla on havaittavissa lisäksi arkinen kolmas pitoisuuspiikki noin klo 20 (liite 3), joka johtuu todennäköisimmin siitä, että ilmansaasteiden sekoittuminen ja laimenneminen on heikompaa iltaisin jolloin olosuhteet ovat pitoisuuksien kasvulle suotuisemmat. Toinen vaihtoehto on jostain muusta päästölähteestä kuin liikenteestä peräisin olevat pienhiukkaset, jotka nostavat pitoisuuksia iltaisin aamu- ja iltapäiväruuhkan lisäksi. Hiukkasten ja typen oksidien vuorokausipitoisuudet ovat arkena viikonloppua korkeammat. Viikonloppuisin korkeimmat pitoisuudet ajoittuvat iltaan ja koko viikon pienimmät pitoisuudet sunnuntai-aamuun ja aamupäivään.

Vuoden 2013 kuukausista suurimmat pienhiukkasten pitoisuudet esiintyivät keväällä helmikuuhuhtikuun välisenä aikana ja kesäkuussa. Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet olivat selvästi

korkeimmat keväällä (Kuva 15) noin 8.3.–11.4. katupölyepisodin aikana ja pienimmillään PM₁₀ –pitoisuudet olivat heinä-syyskuun välisenä aikana. Pitoisuudet ovat olleet korkeita muutamina päivinä myös loppuvuodesta 2013 loka-joulukuussa.



Kuva 15. Kehä III Variston hiukkasten vrk-pitoisuudet vuoden 2013 aikana.

Typsimonoksidin pitoisuudet olivat pienimmillään vuonna 2013 kesällä sekä keväällä ja korkeimmillaan syksyllä ja talvella (liite 3). Typpidioksidin pitoisuudet puolestaan olivat pienimmillään kesällä ja syksyllä ja suurimmillaan talvella ja keväällä. Huhti-heinäkuun aamuina typpimonoksidin pitoisuuspiikit ovat olleet pienempiä muiden kuukausien aamuihin verrattuna. Talvikuukausina (marras-helmikuun) välisenä aikana typpimonoksidin pitoisuudet ovat pysyneet korkeana myös päiväsaikaan. Erityisesti joului- ja tammikuussa typpimonoksidin pitoisuudet eivät juuri putoa päivän aikana, vaan päivän korkein pitoisuus on ajoittunut klo 15. Muina kuukausina aamun pitoisuus on selkeästi iltapäivien pitoisuutta suurempi ja iltapäivän pitoisuuspiikki on pieni.

5.3.4. Kaupunkitausta (Kallio 2, Helsinki)

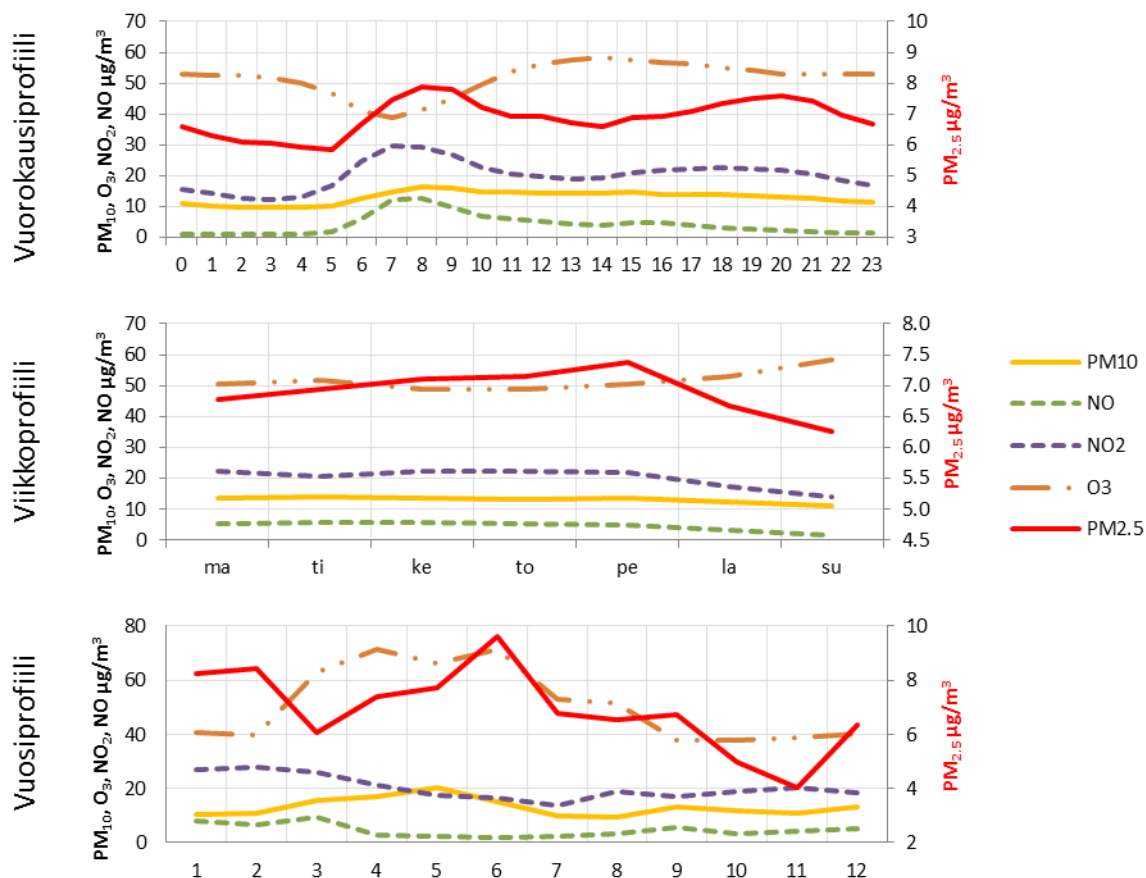
Kallion mittausaseman katsotaan edustavan väestön altistumista Helsingin keskustan asuinalueilla. Asema sijaitsee etäällä vilkkaista teistä ja päästölähteistä (Ilmanlaatuportaali 2016). Vilkkaimmat kadut lähistöllä ovat Sturenkatu 300 metrin ja Helsinginkatu 80 metrin päässä, joissa keskimääräiset arkivuorokausiliikenteet olivat Sturenkadulla 36 000 (raskas 7 %) ja Helsinginkadulla 6 300 (raskas 4 %). Hanasaaren voimalaitos sijaitsee noin 1 km:n päässä mittausasemasta kaakkoon (Malkki ym. 2014). Kallion vuoden 2013 pienhiukkasten vuosikeskiarvo oli 6,9 µg/m³, hengitettävien hiukkasten 13,9 µg/m³, typpidioksidin 20,2 µg/m³,

typpimonoksidin $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä otsonin $51,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, joiden lisäksi seurattiin raskasmetallien, bentso(a)pyreenin ja bentseenin pitoisuuksia.

Kallion pienhiukkasten paikallisten lähteiden osuudeksi arvioitiin asemakohtaisen tarkastelun perusteella $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (21 %), alueellisten lähteiden $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (18 %) ja kaukokulkeuman osuudeksi $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 %) (liite 2). Kallion mittausaseman pitoisuuksiin vaikuttaa paikallisista ja alueellisista lähteistä voimakkaimmin liikenne vuorokausi- ja viikkoprofiilin perusteella (Kuva 16, liite 3). Vuorokauden pienimmät hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet on mitattu yleisesti aamuöisin ja pitoisuudet kohoavat arki-aamujen ruuhkaisimpien tuntien aikana vuorokauden korkeimpiin pitoisuuksiin. Pienhiukkasten iltapitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan klo 20–21. Hengitettävien hiukkasten ja typpimonoksidin korkeimmat ilta-päivän pitoisuudet ajoittuvat klo 15 ja typpidioksidin klo 18.

Arkena hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet ovat korkeampia kuin viikonloppuisin (liite 3). Lauantaisin ja sunnuntaisin vuorokauden korkeimmat hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet ajoittuvat iltaan ja korkeimmillaan pitoisuudet ovat noin klo 18. Viikonloppuaamuina hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet eivät nouse yhtä voimakkaasti kuin arki-aamuina. Otsonin pitoisuudet ovat korkeimmillaan päivän valoisimpaan aikaan ja viikonloppuisin, kun liikenteestä syntyvien typen oksidien pitoisuudet ovat pienimmillään. Pitoisuudet ovat taas pienimmillään aamuisin, kun liikenteestä syntyvien typen oksidien määrä on huipussaan.

Vuoden 2013 aikana korkeimmat pienhiukkaspitoisuudet mitattiin tammi-helmikuussa sekä touko-kesäkuussa ja pienimmät loka-marraskuun aikana (Kuva 16). Hengitettävien hiukkasten pitoisuudet ovat olleet puolestaan korkeimmillaan toukokuussa ja pienimmillään heinä-elokuussa. Typen oksidien pitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan alkuvuodesta tammi-maaliskuun välisenä aikana ja pienimmillään touko-heinäkuun välisenä aikana. Otsonin pitoisuudet olivat korkeimmillaan valoisimpaan aikaan kevään ja kesän aikana.



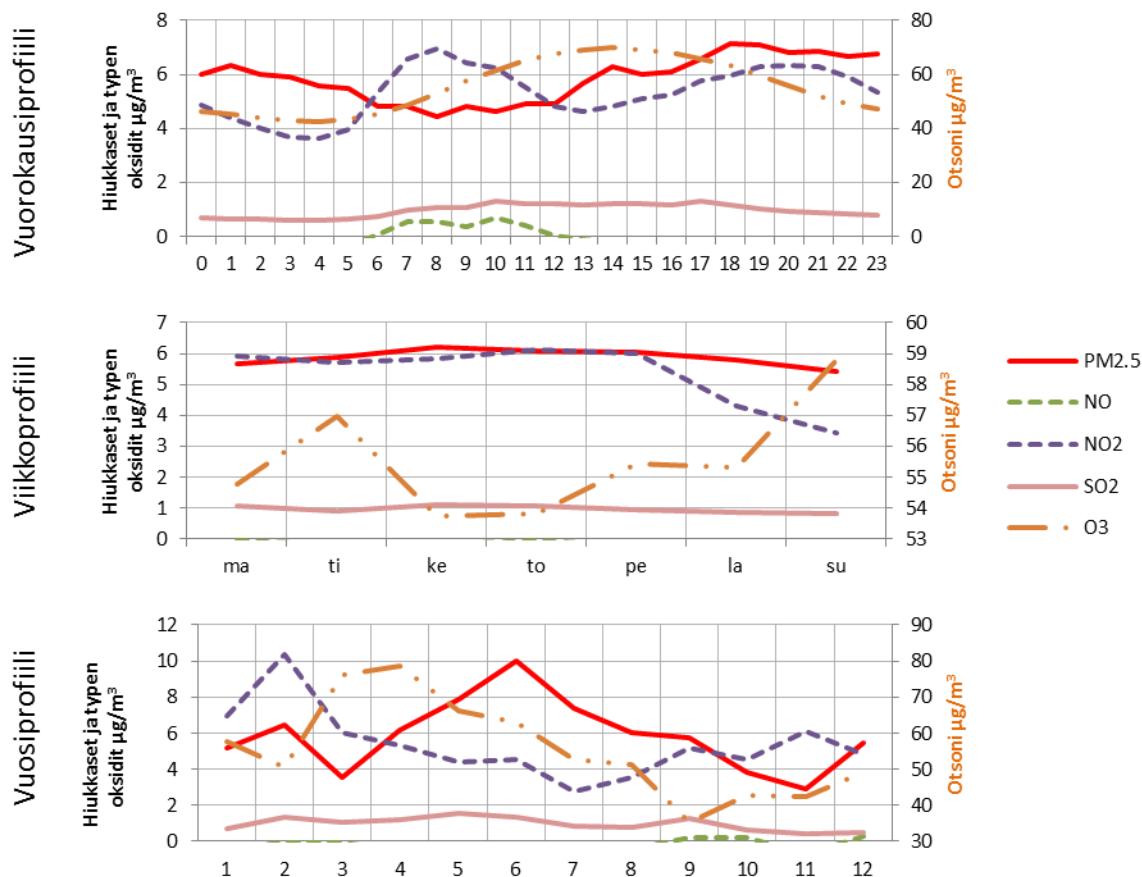
Kuva 16. Helsingin Kallion kaupunkitausta-aseman vuorokausi-, viikko- ja vuosisiprofiili vuonna 2013.

5.3.5. Maaseututausta (Luukki, Espoo)

Luukin mittausasemalla mitataan pääkaupunkiseudun alueellista taustapitoisuutta ja se on etäällä suurista pistelähteistä sekä vilkasliikenteisistä liikenneväylistä. Mittausasema sijaitsee avoimella paikalla Luukintien varrella ja noin 800 metrin päässä Vihdintiestä, jossa liikennemäärä oli vuonna 2013 noin. 6 500 ajoneuvoa vuorokaudessa, josta raskaiden ajoneuvojen osuus noin 10 %. (Malkki ym. 2014). Luukin pienhiukkasten vuosikeskiarvo vuonna 2013 oli $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, otsonin $55,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, typpidioksidin $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rikkidioksidin $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Typpi-monoksidin pitoisuus oli käytännössä nolla.

Pääkaupunkiseudun lisäksi Luukin pitoisuuksiin vaikuttavat myös tätä kauempaa kulkeutuneet ilmansaasteet. Saasteiden kulkeutuminen on nähtävissä ainakin pienhiukkaspitoisuuden vuorokausiprofiilissa (Kuva 17), joka on poikkeava verrattuna muihin asematyyppeihin. Korkeimmat pitoisuudet ajoittuvat yleensä iltapäivään ja iltaan ja pitoisuudet pysyttelevät myös

korkeammalla tasolla aamuyöhön asti verrattaessa vuorokauden pienimpiin pitoisuuksiin, jotka ajoittuvat aamuun ja aamupäivään. Arkipäivien ja viikonlopun välillä ei pitoisuuksissa ole havaittavissa merkittävää eroa.



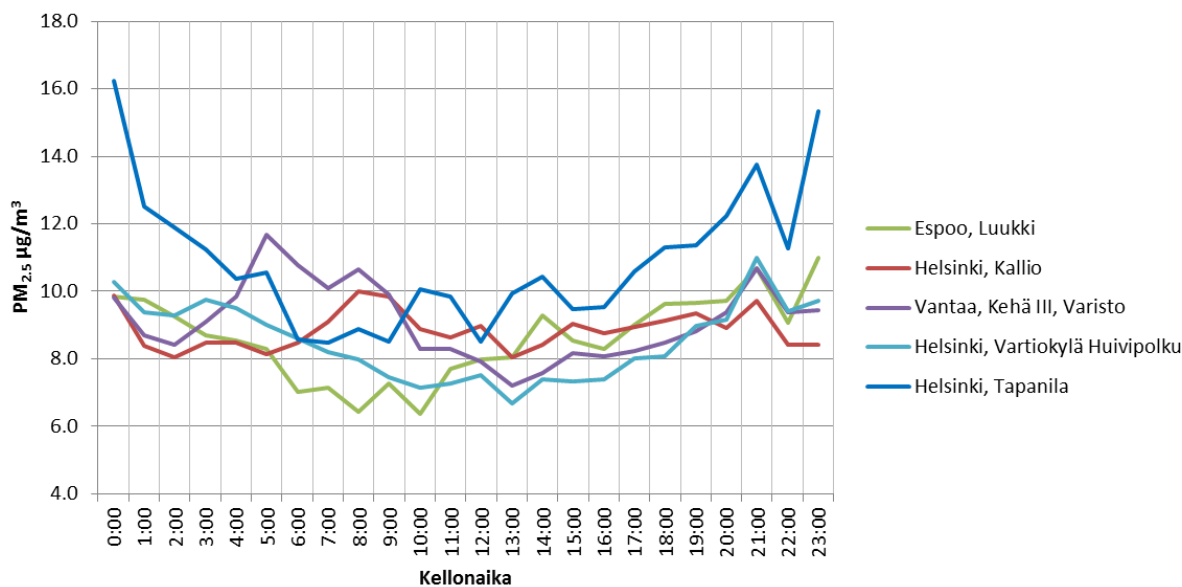
Kuva 17. Espoon Luukin maaseututausta-aseman vuorokausi-, viikko- ja vuosiprofiili vuonna 2013.

Typidioksidin pitoisuudet kohoavat hieman arki-aamuisin ja -iltais-in, joka johtuu todennäköisimmin liikenteestä, sillä viikonloppuaamuisin pitoisuuden nousua ei tapahdu liikennemäärien ollessa pienempiä arkeen verrattuna (liite 3). Viikonloppuisin vuorokauden korkeimmat typidioksidipitoisuudet esiintyvät iltais-in. Pitoisuudet ovat pieniä kesäkuukausina ja puhtain kuukausista heinäkuu, joka on liikenteellisesti vuoden hiljais-in. Typpimonoksidin pitoisuudet ovat nollan tuntumassa läpi vuoden lukuun ottamatta arki-aamujen ja aamupäivien pieniä pitoisuuspiikkejä. Lähin vilkkaammin liikennöity tie (Vihdintie) sijaitsee 800 metrin päässä mittausasemasta sekä Kehä III lähimmillään noin 7 kilometrin päässä, joista typen oksidien päästöt voivat olla lähimmillään peräisin. Otsonin pitoisuudet ovat korkeimmillaan päivän ja vuoden valoisimpina aikoina keväällä ja kesällä. Rikkidioksidin pitoisuudet ovat korkeimmat

päivisin klo 8-18 välillä. SO₂ – pitoisuuksissa ei ole suurta eroa viikonpäivien välillä. Rikki-dioksidin pitoisuudet ovat läpi vuoden alhaiset, mutta suurimman ja pienimmän pitoisuuden omaavien kuukausien välillä pitoisuuserot ovat jopa kolminkertaisia.

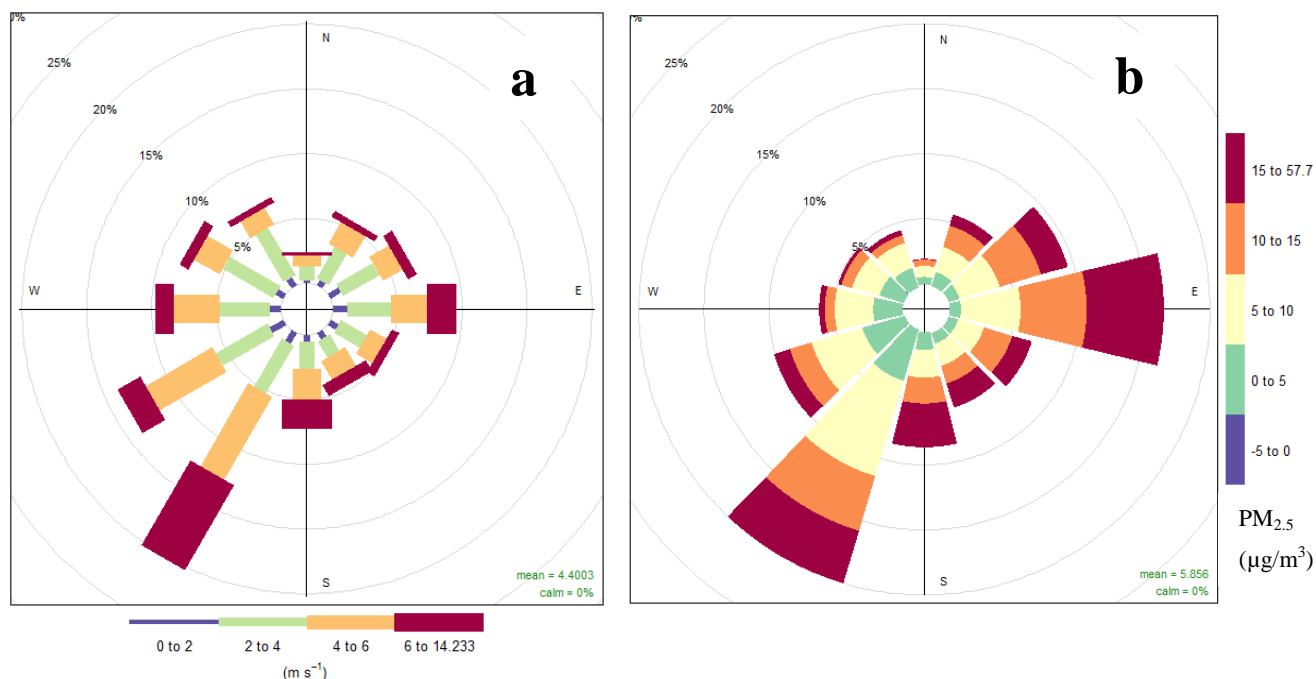
5.4. PAIKALLISTEN JA ALUEELLISTEN LÄHTEIDEN SEKÄ KAUKOKULKEUMAN SYNTYSIJAINTIEN ARVIOINTI

Espoon Luukin pääkaupunkiseudun alueellinen tausta-asema sijaitsee Helsingin keskustasta noin 20 kilometrin päässä. Keskimääräisillä tuulenopeuksilla (4,4 m/s) Helsingin keskustan alueen päästöjen vaikutus ilmenee Luukissa 1-2 tunnin viiveellä (Kuva 18). Aikasarja-analyysin kannalta tämä tarkoittaa että paikallisten ja alueellisten lähteiden erottelu perustuu vastaavaan etäisyyteen (n.10–20 km). Tuulen suunta Helsingin keskustasta kohdistuu Luukiin noin 10 – 20 % vuoden tunneista (Kuva 19).



Kuva 18. PM_{2,5} -pitoisuudet erällä pääkaupunkiseudun asemilla vuonna 2013, kun tuulensuunta on ollut idän ja etelän välillä.

Pelkästään idän ja etelän väliltä tulevien ilmassojen pienhiukkaspitoisuudet ovat olleet pääkaupunkiseudun mittausasemilla noin 2-3 µg/m³ ja Luukin asemalla noin 3-4 µg/m³ korkeampia vuoden 2013 vuorokausiprofiiliin verrattuna (Kuva 18). Mahdollisesti merkittävin tekijä idästä tulevien ilmassojen korkeampiin pienhiukkaspitoisuuksiin on Pietari. Luukin pitoisuuksissa näkyy selvästi lisäksi pääkaupunkiseudun vaikutus, sillä Tapanilaa lukuun ottamatta pitoisuus kohoaa ajoittain jopa muita asemia korkeammiksi päivän ja illan aikana.



Kuva 19. a) Tuulen tulosuunta- (%) ja nopeusjakauma (m/s) Kumpulan sääasemalla sekä b) eri ilmansuunnista tulevien ilmassojen vaikutus pienhiukkasten kokonaispitoisuuteen Luukissa vuonna 2013.

Noin kolmanneksen vuoden 2013 tunneista Kumpulassa on tuullut lounaasta ja tämän ilmansuunnan vaikutus Luukin pienhiukkasten vuosipitoisuuteen ($5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on ollut merkittävin noin 30 % osuudella (Kuva 19). Hieman yli puolet ajasta pitoisuudet ovat olleet alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lounaistuulet tuovat pienhiukkasia mukanaan Keski- ja Itä-Euroopan lähteistä. Idästä päin on tuullut vain vajaat 10 % vuodesta, mutta tämän ilmansuunnan vaikutus kokonaispitoisuuteen on ollut kuitenkin merkittävä yli 15 % osuudella. Itätuulilla ilmassa Luukin mittausasemalla on ollut lounaistuulia saastuneempaa, sillä noin 2/3 ajasta pitoisuudet ovat olleet yli $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6. TULOSTEN TARKASTELU

6.1. VÄESTÖPAINOTETUT PITOISUUDET

Tässä työssä määritetyt väestöpainotetut pitoisuudet poikkesivat hieman ISTE-hankkeessa arvioituihin altistustasoihin verrattaessa. Hiukkasten kohdalla ero johtui siitä, että tässä työssä altistuminen arvioitiin pelkästään vuoden 2013 mittaustuloksiin perustuvalla 3-portaisella allokaatiomallilla, kun ISTE-arvioissa tukeuduttiin myös muihin esitettyihin arvioihin. ISTE-hankkeessa altistuminen arvioitiin regressioekstrapolaatiomallin ja EEA:n ja WHO:n arvioiden keskiarvona. Tästä huolimatta arvioidut altistustasot erosivat vain hieman ISTE-hankkeen altistustasoista. Pienhiukkasten altistustasoksi arvioitiin $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hengitettävien hiukkasten $10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jotka ovat vain $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pienempiä pitoisuuksia kuin ISTE-hankkeessa määritetyt. Siten tässä käytettyä pelkästään mittauss asemien havaintoihin ja allokaatiomenetelmän perustuvia tuloksia voidaan pitää oikeainsuuntaisina väestön altistusta arvioitaessa.

Typpidioksidin altistustaso tässä työssä ($12,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli sen sijaan pari mikrogrammaa suurempi kuin ISTE-hankkeessa ($9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Suurimmaksi osaksi pitoisuuksien ero johtui siitä, että tässä työssä kokonaisaltistuksen arvioinnissa ei käytetty maaseututausta-asemia, mutta myös altistustasojen laskennassa käytettiin toisistaan eroavaa mallien yhdistelmää.

Rikkidioksidin arvioitu pitoisuus oli tässä työssä $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja oli vain $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pienempi kuin ISTE-hankkeessa. Pieni ero johtui siitä, että tässä työssä altistuslaskuista jätettiin Katajannokan satama-alueen pitoisuus pois, joka ei edusta väestön tyypillistä altistumista.

Pienhiukkasten pitoisuuksia mitattiin vuonna 2013 kaikkiaan 31, hengitettävien hiukkasten 60, typpidioksidin 68 ja rikkidioksidin 37 asemalla, joista hengitettävien hiukkasten, typpidioksidin ja rikkidioksidin mittauss asemista noin 70–80 % ja pienhiukkasten asemista noin 60 % oli sijoitettu näille korkeimman kuormituksen alueille teollisuus- ja liikenneympäristöihin. Jäljelle jäävistä noin 20 esikaupunki- ja kaupunkitausta- asemasta melkein kaikki, paria poikkeusta lukuun ottamatta, sijaitsee puolestaan suurimmissa väestökeskittymissä yli 50 000 asukkaan kaupungeissa keskisessä ja eteläisessä Suomessa. Tässä työssä maaseuduksi määritetyllä alueella asuvien 2,7 miljoonan ihmisen, eli noin puolen Suomen väestön altistumisen arviointi jää siten, rikkidioksidia lukuun ottamatta, vain muutaman aseman varaan. Esikau-

punki- ja kaupunkitausta-asetat edustavat asematyypeistä parhaiten pitoisuuksia joille suurin osa väestöstä altistuu, sillä kaupunkien ja kuntien taajamissa asui noin 85 % suomalaisista vuoden 2012 lopulla (Tilastokeskus 2016).

6.2. ALTISTUSTEN JAKO LÄHDEOSUUKSIIN

Kaukokulkeuman osuus määritettiin Ilmatieteen laitoksen ylläpitämien maaseututausta-asettien mittaustuloksiin perustuen. Paikallisten lähteiden pitoisuus arvioitiin käyttämällä hyväksi pitoisuustasoa, jolloin lähialueen päästöt vaikuttivat pitoisuuteen vähiten. Alueellisten lähteiden pitoisuus määritettiin kaukokulkeuman sekä paikallisten lähteiden pitoisuudesta. Kaupunkialueilla pitoisuuksissa on luultavasti aina näkyvässä paikallisten lähteiden vaikutus myös silloin, kun pitoisuudet ovat alhaisimmillaan. Paikallisten lähteiden pitoisuudet voivat siis olla lievästi aliarvioitu tässä työssä, joka pienentäisi silloin alueellisten lähteiden pitoisuuksia. Toisaalta paikallisten ja alueellisten sekä kaukokulkeuman pitoisuuksien alkuperän etäisyyden määrittäminen on vaikeaa, joten arvioituissa kaukokulkeuman pitoisuuksissa näkyy mahdollisesti myös alueellisten lähteiden vaikutus. Joka tapauksessa mittausaseman paikallisten lähteiden ja tätä kauempaa alkuperää olevien lähteiden erottaminen toisistaan ja niiden pitoisuuksien arvioiminen mittausaineisto hyödyntäen, antaa hyvän suuntaa antavan arvi-
on.

Hiukkasten kaukokulkeuman osuuden määrittämistä varten Suomessa on varsin vähän mittausasemia puhtailla tausta-alueilla. Ilmanlaatuportaalista pienhiukkasten maaseututausta-alueiden mittaustuloksia oli saatavilla vain neljältä asemalta, joista kolme Ilmatieteen laitoksen ylläpitämiä ja yksi HSY:n ylläpitämä (Luukki), sekä hengitettävien hiukkasten vain kolmelta tausta-asetalta ja nämäkin sijoittuvat aivan eteläisimpään ja pohjoisimpaan Suomeen, Keski-Suomen jäädessä ilman mittauksia.

Niin pienhiukkasten kuin hengitettävien hiukkasten kaukokulkeuman arvioimiseen käytettävissä olevien tausta-asettien määrä on minimaalinen ja riittää juuri maantieteellisen vaihtelun kuvaamiseen. Tästä huolimatta esimerkiksi terveyden kannalta haitallisimpien pienhiukkasten osalta kaukokulkeuman osuuden määrittäminen onnistui kohtalaisen hyvin käytetyillä pitoisuuksilla. Suomessa pienhiukkasista keskimäärin noin puolet arvioitiin olevan peräisin kaukokulkeumasta.

Rikkidioksidia mitattiin 8 ja typpidioksidia 5 Ilmatieteen laitoksen ylläpitämällä maaseudun tausta-aseamalla, mutta näissäkin SO₂ -pitoisuuksien mittaus painottui enimmäkseen itärajalta pohjoisimpaan Suomeen sekä typpidioksidilla eteläisimpään ja pohjoisimpaan Suomeen. Rikkidioksidin pitoisuudet ovat Suomessa erittäin alhaiset ja niiden mittaaminen näin monella tausta-aseamalla on ylikorostunut suhteessa hiukkasten mittauksiin, joista varsinkin pienhiukkasten on todettu olevan terveydelle haitallisempi ilmansaaste.

Ilmanlaatuportaalisissa asemien vuosikeskiarvot on saatavissa erillisinä vuositilastoina. Kittilän Matorovan pienhiukkasten vuoden 2013 vuosikeskiarvoksi on näissä tiedostoissa ilmoitettu 1,8 µg/m³ ja tätä lukemaa käytettiin myös kaukokulkeuma komponentin määrittämiseen. Muiden asemien vuosikeskiarvot tarkistettiin laskemalla vuosikeskiarvo tuntidatasta. Tuntidataa ei kuitenkaan ollut saatavilla Kittilän Matorovan asemalle pro gradu -tutkielman alkuvaiheessa, jolloin tuntidata kerättiin analysointia varten. Tuntidata oli kuitenkin saatavilla työn viimeistelyvaiheessa ja tästä datasta laskettu vuosikeskiarvo oli 3,6 µg/m³, jolloin kaukokulkeuman määrittämiseen käytetyllä mallilla kaukokulkeuman osuus kasvaa suuremmaksi ja olisi tällöin väestöpainotetusta pitoisuudesta arviolta 68 %. Paikallisten lähteiden pitoisuuksiin muutos ei vaikuttanut (30 %), mutta sen sijaan alueellisten lähteiden pitoisuus pieneni 15 prosentista vain 2 prosenttiin. Tuloksia ei kuitenkaan lähdetty enää muuttamaan työn ollessa jo viimeistelyvaiheessa.

Otsonin tausta-alueiden mittaustuloksia oli tasaisesti saatavilla läpi Suomen, yhteensä 10 asemalta. Kuntakohtaisten maaseututaustapitoisuuksien määrittämiseen käytetty menetelmä antoi tulokseksi kuitenkin yliarvion, joten kaukokulkeumaa ei määritetty otsonille. Otsonin mitatut maaseututausta-asemien vuoden 2013 keskiarvot vaihtelivat 51 ja 70 µg/m³ välillä ja olivat keskimäärin noin 60 µg/m³, eikä selkeää maantieteellistä eroa pitoisuuksissa ollut havaittavissa. Suurimmat vuosikeskiarvot olivat Utössä 70,4 µg/m³ ja Muonion Sammaltunturilla 69,4 µg/m³ ja pienimmät Hämeenlinnan Evossa 51,4 µg/m³ ja Espoon Luukissa 55,5 µg/m³. Otsonin syntymiseen ja kulumiseen vaikuttavat valon sekä ilmansaasteiden määrä ja pienimmillään otsonin pitoisuus on typen oksidien päästölähteillä ja suurimmillaan maaseudun tausta-alueilla missä paikalliset päästöt vaikuttavat vähän.

6.3. PAIKALLISTEN LÄHTEIDEN TUNNISTAMINEN VALITUILLA ASEMILLA

Suurimmat pienhiukkaspitoisuudet esiintyvät liikenneympäristöissä sekä alueilla, joissa puun pienpoltto on merkittävää. Nämä lähteet vaikuttavat myös todennäköisesti voimakkaimmin paikalliseen ilmanlaatuun Suomessa, vaikka niiden osuutta ei tässä työssä arvioitu. Liikenteen ja puunpolton vaikutus ilmansaasteiden pitoisuuksiin on tunnistettavissa lähteille ominaisista aikasarjaprofiileista. Kaupunkialueilla ei kuitenkaan voida varmuudella sanoa, että pitoisuuden vaihtelu aiheutuu vain yhdestä lähteestä. Merkittävin tai merkittävimmät paikalliseen ilmanlaatuun lähteet on kuitenkin mahdollista tunnistaa aikasarjaprofiilien perusteella.

Liikenneasemille on tyypillistä, että arkisin vuorokauden pienimmät hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet ajoittuvat aamuyöhön klo 2-3 välille ja vuorokauden suurimmat pitoisuudet aamuruuhkaan n. klo 6-8 välille. Aamun pitoisuuksien nousuun verrattuna iltapäivällä ja illalla ei ole yhtä selkeää pitoisuuspiikkiä, vaan pitoisuudet pysyttelevät melko lailla samanlaisena iltaan asti aamun pitoisuuksien tasaannuttua. Useimmiten pienempiä pitoisuuspiikkejä on havaittavissa iltapäiväruuhkan klo 15–16 ja illan aikana klo 20–21, riippuen asemasta. Viikonloppuisin aamun pitoisuuspiikit puuttuvat tai ne ovat paljon laimeampia kuin arkena ja vuorokauden suurimmat pitoisuudet mitataan iltaisin.

Alueilla missä puunpoltto on merkittävä ilmanlaatuun vaikuttava tekijä, vuorokauden pienin pienhiukkaspitoisuus ajoittuu arkisin keskipäivään noin klo 12–13. Näin on ainakin Tapanilan, Kauniaisten ja myös Vartiokylän mittausasemalla, joissa vuorokauden pienin pitoisuus esiintyy klo 13. Tapanilassa ja Vartiokylässä lauantain, perjantain ja keskiviikon pienhiukkasten vuorokausipitoisuudet ovat korkeimmat, kun liikenneasemilla yleensä arkipäivien pitoisuudet ovat korkeampia viikonloppuun verrattuna.

Kaupunkitausta-asevilla vuorokausiprofiilin pitoisuusvaihteluihin merkittävin tekijä vaikuttaisi olevan liikenne, sillä useimmilla kaupunkitausta-aseilla hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet kohoavat aamuruuhkan aikaan ja pitoisuudet ovat korkeimmillaan klo 7-8. Iltapäivän korkeimmat hiukkasten ja typen oksidien pitoisuudet ajoittuvat kaupunkitausta-aseilla yleensä klo 20–21, joka toisaalta sopisi myös puunpolton rytmiin. Useimmilla asemilla typen oksidien ja hengitettävien hiukkasten pitoisuudet kohoavat yhdessä pienhiukkaspitoisuuksien kanssa sekä vuorokauden pienimmät pitoisuudet arkisin on mitattu yleensä aamuyöstä, joka viittaa silloin siihen, että suurin pitoisuuksia kohottava tekijä kaupunkitausta-

asemilla on kuitenkin liikenne. Lisäksi viikonloppuisin pitoisuudet ovat yleisesti pienempiä, eikä aamuruuhkasta johtuvia pitoisuuspiikkejä ole vaan vuorokauden korkeimmat pitoisuudet mitataan yleisesti iltaisin. Pitoisuuden vaihtelut ovat samanlaisia myös puhtaasti liikenneasemiksi luokitelluilla asemilla.

Ilmatieteen laitoksen maaseututausta-asemilla paikalliset lähteet vaikuttavat pitoisuuksiin vain vähän ja suurin osa pitoisuudesta koostuu kaukokulkeumasta. Kuitenkin pitoisuuksien tulkinta kokonaan kaukokulkeumaksi johtaa sen pieneen yliarviointiin.

6.4. PAIKALLISTEN JA ALUEELLISTEN LÄHTEIDEN SEKÄ KAUKOKULKEUMAN SYNTYSIJAJAINTIEN ARVIOINTI

Idästä päin tulevilla tuulilla pääkaupunkiseudun pienhiukkasten päästöt näkyvät Luukin mitausasemalla pitoisuuksien nousuna noin 1-2 tunnin kuluttua muita asemia myöhemmin. Paikallisten ja alueellisten lähteiden syntysijaintina voidaan pitää myös samaa etäisyyttä (n. 10-20 km), sillä tältä etäisyydeltä tulevien päästöjen vaikutus pystytään havaitsemaan aikasarjoista. Suurin osa paikallisista ja alueellisista päästöistä on peräisin kaupungin tai kylän yhteiseltä rakennetulta alueelta ts. taajama-alueelta, jonka laajuus vaihtelee kunnittain.

Kaukokulkeumalla tarkoitetaan tässä työssä ilmavirtojen mukana kulkeutuvaa ilmansaastetta, joka on peräisin vähintään 100 kilometrin päästä tai tätä kauempaa (Sangal 1997). Yleisesti kaukokulkeuma mielletään kulkeutuneeksi valtiorajojen ulkopuolelta. Suurimmat pienhiukkasten pitoisuudet ilmenevät lounaisten ja itäisten tuulten vallitessa ja ovat tulkittavissa niin, että Keski- ja Itä-Euroopan sekä Pietarin päästöillä on vaikutusta pääkaupunkiseudun pitoisuuksiin.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä määritettiin väestöpainotetut lähdeosuudet hiukkasille ($PM_{2.5}$ ja PM_{10}), typpidioksidille (NO_2) ja rikkidioksidille (SO_2) yhdistämällä ilmanlaadun mittaus- ja väestötiedot. Pitoisuudet jaettiin paikallisiin ja alueellisiin lähdeosuuksiin sekä kaukokulkeumaan väestötasolla. Lisäksi valituilla asemilla tarkasteltiin paikallisten lähteiden osuuksia yksityiskohtaisemmin.

Pienhiukkasten väestöpainotetuksi altistustasoksi arvioitiin $6,5 \mu g/m^3$, hengitettävien hiukkasten $10,7 \mu g/m^3$, typpidioksidin $12,0 \mu g/m^3$ ja rikkidioksidin $0,95 \mu g/m^3$. Hiukkasten, typpidioksidin ja varsinkin rikkidioksidin väestöpainotetut altistustasot alittivat selvästi WHO:n terveysperusteiset ohjearvot ($PM_{2.5}$, PM_{10} ja NO_2) sekä kasvillisuuden suojelemiseksi säädetyn raja-arvon (SO_2). Ohje- ja raja-arvoihin suhteutettuna hiukkasten merkitys korostui, sillä niiden altistustasot olivat lähimpänä säädöksiä. Pienhiukkasten altistustaso oli noin 2/3 ja hengitettävien hiukkasten hieman yli puolet ohjearvosta. Typpidioksidin altistustaso oli noin kolmasosan WHO:n ohjearvosta ja rikkidioksidin enää vain noin 5 % kasvillisuusperusteisesta raja-arvosta.

Pienhiukkasaltistuksesta merkittävin osa, eli yli puolet muodostui kaukokulkeumasta. Paikallisten ja alueellisten lähteiden osuudeksi jäi 45 %. Hengitettävien hiukkasten altistuksesta noin kaksi kolmasosaa oli peräisin paikallisista ja alueellisista lähteistä ja kaukokulkeuman osuus oli kolmasosa. Hengitettävien hiukkasten kaukokulkeuman osuus näyttäisi muodostuvan pääosin pienhiukkasista, sillä kaukokulkeuman pitoisuudet ovat molemmilla suunnilleen samansuuruisia.

Typpidioksidin altistukseen vaikutti selkeimmin kotimaiset lähteet, sillä yli 80 prosenttia oli peräisin paikallisista ja alueellisista lähteistä ja vain noin kuudesosa kaukokulkeumasta. Typpidioksidin altistuksessa oli selkeästi nähtävissä liikenteen vaikutus pitoisuuksiin. Rikkidioksidin altistustaso oli erittäin alhainen johon paikalliset lähteet ja kaukokulkeuma vaikuttivat kutakuinkin yhtä paljon (42 ja 46 %).

Asemakohtaisessa tarkastelussa kaupunkitausta-aseilla sekä hiukkasten että typen oksidien pitoisuudet noudattelevat selkeimmin liikenteen rytmiä arkipäivien aamu- ja iltapäiväpiikkeineen. Lisäksi suurimmat pienhiukkasten pitoisuudet mittausaineiston perusteella esiintyvät

liikenne- ja puunpolttoympäristöissä. Esimerkiksi tässä työssä tarkastelussa olleiden puunpolttoympäristössä sijainneen Tapanilan ja Kehä III:lla sijainneen Variston liikenneaseman vuosikeskiarvot ($8,8$ ja $8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) olivat 2. ja 4. korkeimmat pitoisuudet Suomessa vuonna 2013. Korkein vuosikeskiarvo oli Kotkan satamassa ($10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja kolmanneksi korkein Mannerheimintiellä ($8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Näiden havaintojen perusteella voidaan arvioida liikenteen ja puunpolton olevan kotimaisista lähteistä merkittävimpiä kaupunkien ja esikaupunkien tausta-alueiden ilmanlaatuun vaikuttavia lähteitä.

Hiukkasten, typpidioksidin ja rikkidioksidin ilmanlaadun mittausasemista noin 60–80 % sijoittuu suurimman kuormituksen alueille ts. liikenne- ja teollisuusympäristöihin, joissa pitoisuudet ovat korkeimpia ja eivät kuvaa väestön altistumista. Arviolta 85 % suomalaisista asui kaupunkien ja kuntien taajamissa vuoden 2012 lopulla ja vain 20 asemaa 103 asemasta sijaitsi esikaupunki- tai kaupunkitausta-alueilla. Altistuksen arvioinnin näkökulmasta näitä tausta-asemia olisi syytä olla enemmän.

Hiukkaspitoisuuksien mittaamisessa painopiste vuonna 2013 oli vielä hengitettävissä hiukkasissa (61 asemaa), josta painopistettä tulisi siirtää enemmän pienhiukkasten mittaamiseen (31 asemaa), joiden on todettu olevan terveyden kannalta haitallisempia kuin hengitettävien hiukkasten. Puunpolton vaikutuksia pienhiukkasten pitoisuuksiin seurataan jatkuvatoimisesti vain pääkaupunkiseudulla, mutta pitoisuustietoja olisi hyvä saada myös muualta Suomesta, koska se näyttää olevan merkittävä päästölähde esikaupunkialueilla. Vuonna 2013 hiukkasmittauksia suoritettiin vain 3 tai 4 maaseudun taustamittausasemalla ja ne sijoituivat aivan eteläisimpään ja pohjoisimpaan Suomeen. Hiukkasten ja varsinkin pienhiukkasten pitoisuuksien mittaaminen nykyistä useammalla maaseudun tausta-asemalla mahdollistaisi tarkemman taustapitoisuuden arvioimisen.

Nykyisellään valtakunnallinen koko mittausverkoston kattava raportointi ilmanlaadusta ja sen kehityksestä kattaa ilmanlaatuportaalin kokoamat mittausasemien vuositilastot, ja tarkemmin ilmanlaadusta raportoidaan mittauskuntakohtaisesti. Ilmanlaadun mittausaineistoa on mahdollista hyödyntää nykyistä laajemmin koko väestön altistustasojen ja lähdeosuuksien arvioinnissa.

8. LÄHDELUETTELO

- Aarnio P, Matilainen L & Loukkola K. 2014. Ilmanlaatu Uudellamaalla vuosina 2004 – 2013. Raportteja 60/2014. Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
- Ahtoniemi P, Tainio M, Tuomisto J, Karvosenoja N, Kupiainen K, Porvari P, Karppinen A, Kangas L & Kukkonen J. 2010. Health risks from nearby sources of fine particulate matter : Domestic wood combustion and road traffic (PILTTI). Report / National Institute for Health and Welfare (THL) : 3/2010.
- Alaviippola B & Pietarila H. 2011. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa, pienhiukkaset (PM_{2,5}). Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 48 s. + 12 liites.
- Alaviippola B, Pietarila H, Hakola H, Hellen H & Salmi T. 2007. Ilmanlaadun alustava arviointi Suomessa. Arseni, kadmium, nikkeli, elohopea ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt (=PAH-yhdisteet). Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut, Helsinki, 88 s. + 29 liites.
- Anttila P, Tuovinen J & Niemi JV. 2011. Primary NO₂ emissions and their role in the development of NO₂ concentrations in a traffic environment. *Atmospheric Environment* 45 (4), 986-992.
- Anttila P & Tuovinen J. 2010. Trends of primary and secondary pollutant concentrations in Finland in 1994–2007. *Atmospheric Environment* 44 (1), 30-41.
- Belis CA, Karagulian F, Larsen BR & Hopke PK. 2013a. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment* 69, 94-108.
- Belis CA, Maffei G, Juda-Rezler K, Cherubini A, Reizer M, Miranda A, Volta ML & Thunis P. 2013b. Appraisal project - WP 2 Review and gaps identification in Air Quality and Health Assessment methodologies at regional and local scale.
- Belis CA, Larsen BR, Amato F, Haddad IE, Favez O, Harrison R.M, Hopke PK, Nava S, Paatero P, Prévôt A, Quass U, Vecchi R & Viana M. 2014. European guide on air pollution source apportionment with receptor models. European Commission Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability.
- Bernstein JA, Alexis N, Barnes C, Bernstein IL, Nel A, Peden D, Diaz-Sanchez D, Tarlo SM, Williams PB & Bernstein JA. 2004. Health effects of air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 114 (5), 1116-1123.
- Carlsaw D.C. & Ropkins K. (2012) openair — An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software* 27–28, 52–61.
- Fernando HJS, Mammarella MC, Grandoni G, Fedele P, Di Marco R, Dimitrova R & Hyde P. 2012. Forecasting PM₁₀ in metropolitan areas: Efficacy of neural networks. *Environmental Pollution* 163, 62-67.
- Finavia. 2016. Lentoliikennetilastot. Finavian lentoliikennetilasto 2013 [PDF]. <http://www.finavia.fi/fi/tiedottaminen/arkisto/lentoliikennetilastot/>. Luettu 26.04.2016.
- Fisher B. 2002. Meteorological factors influencing the occurrence of air pollution episodes involving chimney plumes. *Meteorological Applications* 9 (2), 199-210.
- Gatz DF & Smith L. 1995. The standard error of a weighted mean concentration—I. Bootstrapping vs other methods. *Atmospheric Environment* 29 (11), 1185-1193.

- Guerreiro C, de Leeuw F, Foltescu V, Ortiz AG & Horálek J. 2015. Air quality in Europe — 2015 report. European Environment Agency (EEA) Report No 5/2015.
- Gynther L, Tervonen J, Hippinen I, Lovén K, Salmi J, Soares J, Torkkeli S & Tikka T. 2012. Liikenteen päästökustannukset. 23 (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä).
- Helsingin kaupunki. 2016. *Liikennemäärät Helsingissä [PDF]*. Tutkimus ja tilastot. <http://www.hel.fi/www/Helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/kadut-ja-liikennesuunnittelu/tutkimus-ja-tilastot/>. Luettu 25.08.2016.
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut. HSY. 2015. *Ilmansuojelu*. Mallityypit. <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/tietoakaupunkisuunnittelijoille/Leviamismallit-kaupunkisuunnittelussa/Sivut/Mallityypit.aspx>. Luettu 24.2.2016.
- Hosiokangas J, Ruuskanen J & Pekkanen J. 1999. Effects of soil dust episodes and mixed fuel sources on source apportionment of PM10 particles in Kuopio, Finland. *Atmospheric Environment* 33 (23), 3821-3829.
- Hänninen O, Korhonen A, Lehtomäki H, Asikainen A & Rumrich I. 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön raportteja 16 | 2016.
- Ilacqua V, Hänninen O, Saarela K, Katsouyanni K, Künzli N & Jantunen M. 2007. Source apportionment of population representative samples of PM2.5 in three European cities using structural equation modelling. *Science of the Total Environment* 384 (1-3), 77-92.
- Ilmanlaatuportaali. 2016. <http://www.ilmanlaatu.fi/> Luettu 12.02.2016.
- Ilmatieteen laitos. 2015. Ilmatieteen laitoksen avoin data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>. Luettu 16.12.2015.
- Karagulian F, Belis CA, Dora CFC, Prüss-Ustün AM, Bonjour S, Adair-Rohani H & Amann M. 2015. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment* 120, 475-483.
- Karvosenoja N, Kangas L, Kupiainen K, Kukkonen J, Karppinen A, Sofiev M, Tainio M, Paunu V, Ahtoniemi P, Tuomisto JT & Porvari P. 2011. Integrated modeling assessments of the population exposure in Finland to primary PM2.5 from traffic and domestic wood combustion on the resolutions of 1 and 10 km. *Air Quality, Atmosphere & Health* 4 (3), 179-188.
- Keuken M, Roemer M & van den Elshout S. 2009. Trend analysis of urban NO2 concentrations and the importance of direct NO2 emissions versus ozone/NOx equilibrium. *Atmospheric Environment* 43 (31), 4780-4783.
- Komppula B, Anttila P, Vestenius M, Salmi T & Lovén K. 2014. Ilmanlaadun seurantarpeen arviointi. Ilmatieteen laitos, Asiantuntijapalvelut, Ilmanlaatu ja energia. Helsinki. 123 s. + 49 liites
- Komppula B & Lovén K. 2016. Moninaista tietoa ilmanlaadun mittauksilla. *Ympäristö Ja Terveys-Lehti* 47 (6), 12-16.
- Korhonen A, Asikainen A, Rumrich I & Hänninen O. 2015. Ilmansaasteille altistuminen Suomessa vuonna 2013. Ilmanlaadun mittausverkostoon pohjautuen. ISTE-raportti. *Terveyden Ja Hyvinvoinnin Laitos (THL)* . <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601122445>
- Kurtenbach R, Kleffmann J, Niedojadlo A & Wiesen P. 2012. Primary NO2 emissions and their impact on air quality in traffic environments in Germany. *Environmental Sciences Europe* 24 (1), 1-8.

- Lenschow P, Abraham H-, Kutzner K, Lutz M, Preuß J- & Reichenbacher W. 2001. Some ideas about the sources of PM10. *Atmospheric Environment* 35, Supplement 1, S23-S33.
- Lilleberg I & Hellman T. 2015. Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2014. Helsingin Kaupunkisuunnitteluviraston Liikennesuunnitteluosaston Selvityksiä 2015:3.
- Makkonen J, Tuomi S, Gröndahl T & Myllynen M. 2012. Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudun pientaloista. *Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut, HSY* .
- Malkki M, Aarnio P, Matilainen L & Loukkola K. 2014. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2013. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, Helsinki. HSY: julkaisuja 3/2014, 60 s. (+ liiteosa 78 s. Ilmanlaatudata 2013).
- Nath B & Cholakov GS. 2009. Pollution Control Technologies - Volume II. EOLSS Publications, 2009
- Pakkanen TA, Kerminen V, Ojanen CH, Hillamo RE, Aarnio P & Koskentalo T. 2000. Atmospheric black carbon in Helsinki. *Atmospheric Environment* 34 (9), 1497-1506.
- Sangal P,P. 1997. Glossary of Environment Statistics. Studies in Methods, Series F, No. 67 Edition. United Nations. New York.
- Salmi J, Kauhaniemi M & Lovén K. 2014. Ilmanlaatuselvitys. Liikenteen typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämismallinnus valtatie 13 varrella välillä Lappeenranta–Nuijamaa. *Ilmatieteen Laitos. Asiantuntijapalvelut Ilmanlaatu Ja Energia* .
- Salmond JA & McKendry IG. 2005. A review of turbulence in the very stable nocturnal boundary layer and its implications for air quality. *Progress in Physical Geography* 29 (2), 171-188.
- Tainio M. 2009. Methods and Uncertainties in the Assessment of the Health Effects of Fine Particulate Matter (PM2.5) Air Pollution. Research / National Institute for Health and Welfare (THL): 18/2009 .
- Teinilä K, Aurela M, Saarikoski S, Timonen H, Hillamo R, Niemi J & Kousa A. 2016. Pienhiukkasten koostumus ja lähteet Helsingin vilkasliikenteisessä ydinkeskustassa. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. HSY:n julkaisuja 7/2016.
- Tilastokeskus. 2016. *5.10 Väestötiheys*. Väestötieteen perusteet.
http://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_vaesto&lesson_id=5&subject_id=10&page_type=sisalto.
Luettu 30.06.2016.
- Vallius M, Lanki T, Tiittanen P, Koistinen K, Ruuskanen J & Pekkanen J. 2003. Source apportionment of urban ambient PM2.5 in two successive measurement campaigns in Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment* 37 (5), 615-623.
- Vallius M, Janssen NAH, Heinrich J, Hoek G, Ruuskanen J, Cyrus J, Van Grieken R, de Hartog JJ, Kreyling WG & Pekkanen J. 2005. Sources and elemental composition of ambient PM2.5 in three European cities. *Science of the Total Environment* 337 (1-3), 147-162.
- Vallius M, Ruuskanen J & Pekkanen J. 2008. Comparison of multivariate source apportionment of urban PM2.5 with chemical mass closure. *Boreal Environmental Research* 13 (4; 4), 347-358.
- Vestenius M, Leppänen S, Anttila P, Kyllönen K, Hatakka J, Hellén H, Hyvärinen A & Hakola H. 2011. Background concentrations and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in south-eastern Finland. *Atmospheric Environment* 45 (20), 3391-3399.
- Viana M, Kuhlbusch TAJ, Querol X, Alastuey A, Harrison RM, Hopke PK, Winiwarter W, Vallius M, Szidat S, Prévôt ASH, Hueglin C, Bloemen H, Wählin P, Vecchi R, Miranda AI, Kasper-Giebl A,

Maenhaut W & Hitzenberger R. 2008. Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *Journal of Aerosol Science* 39 (10), 827-849.

Vna 38/2011. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. Annettu Helsingissä 20.1.2011.

Vna 164/2007. Valtioneuvoston asetus ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Annettu Helsingissä 8.2.2007.

Yli-Tuomi T, Lanki T, Hoek G, Brunekreef B & Pekkanen J. 2008. Determination of the sources of indoor PM_{2.5} in Amsterdam and Helsinki. *Environmental Science & Technology* 42 (12), 4440-4446.

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Annettu Naantalissa 27 päivänä kesäkuuta 2014.

Zhang Y, Seidel DJ & Zhang S. 2013. Trends in Planetary Boundary Layer Height over Europe. *Journal of Climate* 26 (24), 10071-10076.

2008/50/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, annettu 21 päivänä toukokuuta 2008, ilmanlaadusta ja sen parantamisesta.

LIITTEET

LIITE 1. Vuoden 2013 mittausasemat ja niillä mitatut komponentit sekä asematyypikohtaiset pitoisuudet

LIITE 2. Asemakohtaisella tarkastelulla lasketut lähdeosuudet

LIITE 3. Ilmanlaadun mittausasemien viikko- ja vuosiprofiilien tuntikeskiarvot

LIITE 1. VUODEN 2013 MITTAUSASEMAT JA NIILLÄ MITATUT KOMPONENTIT SEKÄ ASEMATYYPPIKOHTAISET PI-TOISUUDET

Lähdeosuuksien määrittämiseen käytetyt mittausasemat kunnittain sekä niillä mitattujen ilmansaasteiden vuosipitoisuudet ja hiukkasten (PM_{2.5} ja PM₁₀), typpidioksidin (NO₂) ja rikkidioksidin (SO₂) asematyypikohtaiset keskiarvot (liitteet 1.1.-1.4.).

Mittausasemat 2013				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Altistuksen arvioinnissa ja lähdeosuuksien määrittämisessä käytetyt asemat				PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _C	SO ₂	NO ₂	NO	NO _x	O ₃	CO	As	Cd	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆	TRS
Kunta	Nimi	Ympäristö	Päästö	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µgNO ₂ m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³
1	Espoo	Leppävaara 4	kaupunki	7.0	19.6	12.6		27.0	16.8	52.7									
2	Espoo	Luukki	maaseutu	5.8			0.9	5.3	-0.2	4.9	55.5								
3	Harjavalta	Kaleva	esikaupunki		10.3		6.3		3.2				9.6	3.0	9.2				
4	Harjavalta	Pirkkala	esikaupunki		10.3		5.5												
5	Heinola	Heinolan keskusta	kaupunki		12.0			15.1	3.0	19.7									0.2
6	Helsinki	Tapanila	esikaupunki	8.8				16.3	3.9	22.2						1.0			
7	Helsinki	Vartiokylä Huivipolku	esikaupunki	6.8	10.8	4.0		14.6	3.7	20.3	48.4	206.5				0.7		0.6	
8	Helsinki	Mannerheimintie	kaupunki	8.5	24.5	16.0		37.4	23.9	74.0	39.1	231.3							
9	Helsinki	Töölöntulli	kaupunki					48.7											
10	Helsinki	Vallila 1	kaupunki		17.4		1.6	23.9	8.8	37.4									
11	Helsinki	Kallio 2	kaupunki	6.9	13.1	6.2		20.2	4.2	26.6	51.6		0.7	0.2	3.0	0.3	10.0	0.7	
12	Helsinki	Katajanokka 2	kaupunki	8.0			3.2	17.8	8.5	30.9									
13	Hyvinkää	Hyvinkää	kaupunki		15.5			16.5	10.0	31.8									
14	Hämeenlinna	Niittykatu	kaupunki		14.0			17.2	8.0	29.5		141.4							
15	Hämeenlinna	Evo (Lammi)	maaseutu								51.4								
16	Iloantsi	Iloantsi	maaseutu				0.7				59.1								
17	Imatra	Rautionkylä	esikaupunki		10.8		2.0	10.4	3.7	16.0									0.8
18	Imatra	Teppanala	esikaupunki	5.4	10.3	4.9													
19	Imatra	Mansikkala	kaupunki		10.2		1.1	9.3	3.0	13.8									0.5
20	Imatra	Pelkolan tulliasema Raja	maaseutu				1.0	11.7	7.7	23.4									0.8
21	Inari	Raja-Jooseppi	maaseutu		3.9		0.9				64.1								
22	Inkoo	Heimgård	maaseutu				1.2	5.0	1.2	6.9									
23	Jokioinen	Jokioinen	maaseutu								58.9								
24	Juupajoki	Hyytiälä	maaseutu													0.1			
25	Jyväskylä	Palokka 2	esikaupunki		10.2		0.7	9.1	4.5	16.1	38.9	58.5							
26	Jyväskylä	Lyseo 2	kaupunki	4.3	14.2	9.9	0.5	13.7	5.6	22.3		61.8							
27	Jämsä	Seppolantie	kaupunki		12.7			9.8	5.9	18.9									
28	Kaarina	Kaarina	kaupunki		9.7			12.6	6.7	22.8									
29	Kajaani	Kajaanin keskusta 3	kaupunki		12.0			18.7	11.4	36.2									
30	Kauniainen	Kauniainen 2	esikaupunki													0.4			

Mittausasemat 2013				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Altistuksen arvioinnissa ja lähdeosuuksien määrittämisessä käytetyt asemat				PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _C	SO ₂	NO ₂	NO	NO _x	O ₃	CO	As	Cd	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆	TRS
Kunta	Nimi	Ympäristö	Päästö	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µgNO ₂ m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³
31	Kauniainen	Kauniainen 4	esikaupunki	7.1				10.6	1.8	13.3									
32	Kittilä	Matorova	maaseutu	3.6									0.1	0.0	0.2	0.0	0.4		
33	Kokkola	Ykspihlaja	esikaupunki		10.5		5.9	7.8	1.9	10.8									
34	Kokkola	Keskusta Pitkänsillankatu	kaupunki	6.3	13.2	6.9		12.8	5.2	20.7									
35	Kotka	Rauhala	esikaupunki		13.9			11.5	6.8	21.8									0.5
36	Kotka	HaminaKotka Satama/siirrettävä	tuntematon	10.8	14.9	4.1		13.7	5.2	21.7									
37	Kotka	Kirjastotalo	kaupunki		11.5			11.5	2.7	15.6									0.5
38	Kouvola	Kuusankoski Mäki kylä	esikaupunki	6.6	12.9	6.3													
39	Kouvola	Kuusankoski Urheilukentäntie	esikaupunki																0.2
40	Kouvola	Kouvola Käsiyöläiskatu	kaupunki		13.1			11.3	4.1	17.6									
41	Kuopio	Sorsasalo	esikaupunki				2.4												0.3
42	Kuopio	Maaherrankatu	kaupunki		12.0			16.6	9.2	30.7		84.6							
43	Kuopio	Tasavallankatu	kaupunki		17.1			17.1	18.3	45.0									
44	Kuopio	Kasarmipuisto	kaupunki	5.3	10.3	5.0		11.1	4.0	17.2	50.6								
45	Kuopio	Haminalahti	maaseutu																1.2
46	Kuusamo	Oulanka	maaseutu				0.6	0.8	0.1	0.9	62.6								
47	Lahti	Laune	esikaupunki		16.4			16.7	16.9	42.6								0.8	
48	Lahti	Satulakatu	esikaupunki									46.8							
49	Lahti	Saimaankatu	kaupunki	6.6	9.6	3.0													
50	Lahti	Vesku 11	kaupunki					28.2	24.9	66.4								0.8	
51	Lahti	Kisapuisto	kaupunki					10.0	4.1	16.2									
52	Lappeenranta	Joutsenon keskusta	esikaupunki		11.9		1.5												0.5
53	Lappeenranta	Ihalainen	esikaupunki		15.5			14.9	8.4	27.7									0.5
54	Lappeenranta	Lauritsala	esikaupunki		12.4			10.3	3.2	15.2									0.5
55	Lappeenranta	Pulp	esikaupunki				1.1												1.9
56	Lappeenranta	Tirilä Pekkaskatu	esikaupunki	7.4			1.3	8.9	2.6	12.8									0.6
57	Lappeenranta	Lappeenrannan keskusta 4	kaupunki	6.9	18.1	11.2		11.6	5.6	20.1									0.3
58	Lohja	Nahkurintori 2	kaupunki	6.1	11.1	5.0		9.7	2.7	13.9									
59	Luoto	Vikarholmen	esikaupunki				0.6												0.7
60	Länsi-Turunmaa	Utö	maaseutu	3.8			0.6	3.2	0.3	3.7	70.3								
61	Länsi-Turunmaa	Parainen III	esikaupunki		12.3														
62	Mikkeli	Porrassalmenkatu	kaupunki																
63	Muonio	Sammaltunturi	maaseutu		3.2		0.4	1.0	0.0	1.0	69.5							0.2	
64	Naantali	Naantalin keskusta	kaupunki		11.3		1.3	14.3	7.9	26.3									
65	Oulu	Pyykösjärvi	esikaupunki		9.6			11.2	3.3	16.3	55.6								
66	Oulu	Nokela	esikaupunki				0.9												0.2
67	Oulu	Oulun Keskusta 2	kaupunki	6.6	14.3	7.7		25.3	23.4	61.1		57.6							

Mittausasemat 2013				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Altistuksen arvioinnissa ja lähdeosuuksien määrittämisessä käytetyt asemat				PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _C	SO ₂	NO ₂	NO	NO _x	O ₃	CO	As	Cd	Ni	B(a)P	Pb	C ₆ H ₆	TRS	
Kunta	Nimi	Ympäristö	Päästö	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	µgNO ₂ m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	ng m ⁻³	µg m ⁻³	µg m ⁻³	
68	Pieksämäki	Savontie	kaupunki		10.8															
69	Pietarsaari	Bottenviksvägen	kaupunki		14.7		1.5	11.3	6.8	21.6										0.4
70	Pori	Porin Keskusta	kaupunki		9.2		0.9	18.6	12.5	37.6		262.0								
71	Pori	Pastuskeri	maaseutu				0.7													
72	Porvoo	Mustijoki	maaseutu				1.2	11.5	1.0	13.0	51.0									
73	Porvoo	Nyby	maaseutu				1.3													
74	Porvoo	Svartbäck	maaseutu																	
75	Raahe	Lapaluoto	esikaupunki				2.3									1.0	7.0			
76	Raahe	Raahen keskusta 2	kaupunki		9.4			16.9	8.9	30.5						0.5	4.0			
77	Raahe	Merikatu	kaupunki	6.3			1.9									0.7	10.0			
78	Raisio	Kaanaan koulu	esikaupunki				1.2													
79	Raisio	Raision keskusta	kaupunki		13.5			19.9	14.4	41.9										
80	Rauma	Hallikatu	kaupunki		13.0			10.7	5.0	18.3										
81	Seinäjoki	Vapaudentie 6a	kaupunki		13.2			14.6	11.1	31.6										
82	Sodankylä	Sodankylä	maaseutu									57.9								
83	Tampere	Epila 2	esikaupunki	7.9	13.9	6.0														
84	Tampere	Pirkankatu	kaupunki		15.6			19.4	10.5	35.4										
85	Tampere	Kaleva	kaupunki	6.6		3.7		11.7	3.2	16.6	54.2									
86	Tampere	Linja-autoasema	kaupunki	6.9				25.2	17.6	52.1										
87	Turku	Oriketo	esikaupunki	7.1	11.4	4.3		16.6	8.5	29.5										
88	Turku	Turun Kauppatori	kaupunki		15.0			28.1	17.7	55.2		95.7								
89	Turku	Ruissalo Saaronniemi	maaseutu				1.8	7.9	2.4	11.6	59.3									
90	Utsjoki	Kevo	maaseutu				0.6													
91	Vaasa	Vaasan keskusta	kaupunki		17.5			27.1	10.2	42.7										
92	Vaasa	Vaasa vesitorni	kaupunki	4.9	8.1	3.2						59.8								
93	Valkeakoski	Hiekkatekonurmi	esikaupunki		11.9															
94	Valkeakoski	Valkeakosken terveyskeskus	kaupunki				1.6	7.6												
95	Vantaa	Tikkurila 3	esikaupunki	7.2	13.8	6.6		26.6	20.3	57.6		261.6						0.9		
96	Vantaa	Tikkurila 2	esikaupunki									47.3								
97	Vantaa	Kehä III Varisto	tuntematon	8.3	22.9	14.6		32.8	37.3	89.9										
98	Varkaus	Päätterveysasema	esikaupunki	5.4				6.0	2.0	9.1										1.1
99	Varkaus	Taulumäki (toripaviljonki)	kaupunki					8.9	3.6	14.3										0.4
100	Varkaus	Psaari 2	kaupunki		12.7			11.9	8.4	24.8										0.5
101	Virolahti	Virolahti	maaseutu	6.3	10.6	4.3	0.8	4.0	0.3	4.5	59.1		0.3	0.0	0.3	0.2	2.5			
102	Ähtäri	Ähtäri 2	maaseutu					2.2	0.1	2.4	57.0		0.1	0.0	0.1		1.2			
103	Äänekoski	Äänekoski Hiski	esikaupunki		13.0		0.6	8.8												1.4
			Asemia yhteensä	31	60	21	37	68	66	65	23	10	5	5	5	10	7	6	22	

Liite 1.1. Pienhiukkasten keskimääräiset pitoisuudet asematyypeittäin.

PM _{2.5} Aseman tyyppi	Asemia n	Keskiarvo µg/m ³	Keskihajonta (SD) µg/m ³
Kaikki Suomen asemat	31	6,6	1,6
Liikenne	10	7,0	1,2
Teollisuus	8	7,0	1,7
Esikaupunkitausta	3	7,6	1,1
Kaupunkitausta	5	6,0	0,9
Maaseututausta	4	4,4	2,1
Määrittelemätön	1	8,0	-

Liite 1.2. Hengitettävien hiukkasten keskimääräiset pitoisuudet asematyypeittäin.

PM ₁₀ Aseman tyyppi	Asemia n	Keskiarvo µg/m ³	Keskihajonta (SD) µg/m ³
Kaikki Suomen asemat*	60	12,8	3,6
Liikenne	32	14,3	3,6
Teollisuus*	14	12,2	1,7
Esikaupunkitausta	3	10,2	0,6
Kaupunkitausta	8	11,4	2,0
Maaseututausta	3	5,9	4,1
*Sorsasalo jätetty pois siltatyömaan läheisyyden vuoksi			

Liite 1.3. Typpidioksidin keskimääräiset pitoisuudet asematyypeittäin.

NO ₂ Aseman tyyppi	Asemia n	Keskiarvo µg/m ³	Keskihajonta (SD) µg/m ³
Kaikki Suomen asemat	68	14,7	8,5
Liikenne	29	20,3	9,0
Teollisuus	16	10,3	3,2
Esikaupunkitausta	6	12,3	2,7
Kaupunkitausta	10	13,8	5,4
Maaseututausta	6	2,8	1,8
Määrittelemätön	1	17,8	-

Liite 1.4. Rikkidioksidin keskimääräiset pitoisuudet asematyypeittäin.

SO ₂ Aseman tyyppi	Asemia n	Keskiarvo µg/m ³	Keskihajonta (SD) µg/m ³
Kaikki Suomen asemat	37	1,6	1,4
Liikenne	7	1,2	0,4
Teollisuus	19	2,1	1,8
Esikaupunkitausta	1	0,7	-
Maaseututausta	9	0,7	0,2
Määrittelemätön	1	3,2	-

LIITE 2. ASEMAKOHTAISELLA TARKASTELULLA LASKETUT LÄHDEOSUUDET

Pienhiukkasia, hengitettäviä hiukkasia, typpidioksidia ja rikkidioksidia mittaavien asemien paikallisten ja alueellisten lähteiden sekä kaukokulkeuman osuudet kokonaispitoisuuksista.

PM_{2.5} (1/2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kunta	Tampere	Vantaa	Espoo	Helsinki	Jyväskylä	Kokkola	Lahti	Lappeenranta	Oulu	Vantaa	Helsinki	Helsinki	Kauniainen	Helsinki	Kuopio
Asema	Epila 2	Tikkurila 3	Leppävaara 4	Mannerheimintie	Lyseo 2	Pitkänsillankatu	Saimaankatu	Lappeenrannan keskusta 4	Oulun keskusta 2	Kehä III Varisto	Tapanila	Vartiokylä	Kauniainen 4	Kallio 2	Kasarmipuisto
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	tuntematon	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta
Komponentti	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5
yksikkö	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
\bar{X}_{2013}	7.9	7.2	7.0	8.5	4.3	6.3	6.6	6.9	6.6	8.3	8.8	6.8	7.1	6.9	5.3
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.7	4.1	5.1	6.1	2.6	3.9	5.0	5.5	4.9	5.5	4.8	4.4	5.0	5.5	4.2
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	2.2	3.0	1.9	2.3	1.7	2.4	1.6	1.4	1.8	2.9	4.0	2.4	2.1	1.5	1.1
%	28 %	42 %	28 %	27 %	39 %	38 %	24 %	21 %	26 %	35 %	45 %	36 %	29 %	21 %	20 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	2.3	0.0	1.0	2.0	-0.9	1.5	0.9	0.3	2.7	1.3	0.6	0.2	0.9	1.3	0.6
%	29 %	0 %	14 %	23 %	-21 %	23 %	14 %	4 %	40 %	16 %	7 %	3 %	13 %	18 %	12 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	3.5	4.2	4.1	4.2	3.5	2.5	4.1	5.2	2.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.2	3.6
%	44 %	58 %	59 %	49 %	82 %	39 %	62 %	75 %	33 %	50 %	48 %	61 %	58 %	60 %	67 %
yhteensä	7.9	7.2	7.0	8.5	4.3	6.3	6.6	6.9	6.6	8.3	8.8	6.8	7.1	6.9	5.3
kotimaiset	4.5	3.0	2.9	4.3	0.8	3.8	2.5	1.7	4.4	4.2	4.6	2.7	3.0	2.7	1.7
%	56 %	42 %	41 %	51 %	18 %	61 %	38 %	25 %	67 %	50 %	52 %	39 %	42 %	40 %	33 %
kaukokulkeuma	3.5	4.2	4.1	4.2	3.5	2.5	4.1	5.2	2.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.2	3.6
%	44 %	58 %	59 %	49 %	82 %	39 %	62 %	75 %	33 %	50 %	48 %	61 %	58 %	60 %	67 %

PM_{2.5} (2/2)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Kunta	Lohja	Tampere	Tampere	Vaasa	Imatra	Kouvola	Lappeenranta	Turku	Varkaus	Raahe	Kotka	Helsinki
Asema	Nahkurin- tori 2	Kaleva	Linja- autoasema	Vaasa vesitorni	Teppanala	Kuusankoski Mäkikylä	Tirilä Pekkasenkatu	Oriketo	Pääterveys- asema	Merikatu	HaminaKotka Satama Oy/siirrettävä	Katajanokka 2
Lähiympäristö	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	tuntematon	kaupunki
Lähiympäristön päästö	tausta	tausta	tausta	tausta	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	tuntematon
Komponentti	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5
yksikkö	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
\bar{X}_{2013}	6.1	6.6	6.9	4.9	5.4	6.6	7.4	7.1	5.4	6.3	10.8	8.0
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	4.0	5.5	5.5	3.7	3.8	5.5	5.4	5.0	4.0	4.1	7.2	6.6
Paikallinen												
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	2.1	1.2	1.4	1.2	1.6	1.1	2.0	2.1	1.3	2.1	3.6	1.5
%	35 %	18 %	21 %	24 %	29 %	17 %	27 %	30 %	25 %	34 %	33 %	18 %
Alueellinen												
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	0.0	2.0	2.0	1.1	-1.8	1.0	0.2	1.3	0.0	1.9	2.5	2.4
%	0 %	30 %	29 %	23 %	-33 %	15 %	3 %	18 %	-1 %	30 %	23 %	30 %
Kaukokulkeuma												
maaseututausta (regressio)	4.0	3.5	3.5	2.6	5.6	4.5	5.2	3.7	4.1	2.3	4.7	4.2
%	65 %	52 %	50 %	53 %	104 %	68 %	70 %	52 %	76 %	36 %	44 %	52 %
yhteensä	6.1	6.6	6.9	4.9	5.4	6.6	7.4	7.1	5.4	6.3	10.8	8.0
kotimaiset	2.1	3.2	3.5	2.3	-0.2	2.1	2.2	3.4	1.3	4.0	6.1	3.9
%	35 %	48 %	50 %	47 %	-4 %	32 %	30 %	48 %	24 %	64 %	56 %	48 %
kaukokulkeuma	4.0	3.5	3.5	2.6	5.6	4.5	5.2	3.7	4.1	2.3	4.7	4.2
%	65 %	52 %	50 %	53 %	104 %	68 %	70 %	52 %	76 %	36 %	44 %	52 %

PM₁₀ (1/4)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kunta	Lahti	Lappeenranta	Tampere	Valkeakoski	Vantaa	Espoo	Heinola	Helsinki	Helsinki	Hyvinkää	Imatra	Jyväskylä	Jämsä	Kajaani	Kokkola
Asema	Laune	Joutsenon keskusta	Epila 2	Hiekkatekonurmi	Tikkurila 3	Leppävaara 4	Heinolan keskusta	Mannerheimintie	Vallila 1	Hyvinkää	Mansikkala	Lyseo 2	Seppolantie	Kajaanin keskusta 3	Keskusta Pitkänsillankatu
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne
Komponentti	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
yksikkö	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
\bar{X}_{2013}	16.4	11.9	13.9	11.9	13.8	19.6	12.0	24.5	17.4	15.5	10.2	14.2	12.7	12.0	13.2
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	9.6	7.3	8.1	7.2	8.1	11.7	8.3	15.5	10.8	9.4	6.8	8.3	7.6	7.3	8.2
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	6.8	4.6	5.8	4.6	5.7	8.0	3.7	8.9	6.6	6.1	3.4	5.8	5.1	4.7	5.0
%	42 %	38 %	42 %	39 %	41 %	41 %	31 %	36 %	38 %	39 %	33 %	41 %	40 %	39 %	38 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	5.6	3.0	4.4	3.5	4.1	7.7	4.4	11.5	6.7	5.5	2.3	4.7	3.9	4.1	5.0
%	34 %	25 %	32 %	29 %	30 %	39 %	36 %	47 %	39 %	35 %	22 %	33 %	31 %	34 %	38 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	3.9	4.4	3.7	3.7	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	3.9	4.5	3.7	3.7	3.3	3.2
%	24 %	37 %	26 %	32 %	29 %	20 %	33 %	16 %	23 %	25 %	44 %	26 %	29 %	27 %	24 %
yhteensä	16.4	11.9	13.9	11.9	13.8	19.6	12.0	24.5	17.4	15.5	10.2	14.2	12.7	12.0	13.2
kotimaiset	12.5	7.5	10.3	8.1	9.9	15.6	8.1	20.5	13.4	11.6	5.7	10.5	9.0	8.8	10.0
%	76 %	63 %	74 %	68 %	71 %	80 %	67 %	84 %	77 %	75 %	56 %	74 %	71 %	73 %	76 %
kaukokulkeuma	3.9	4.4	3.7	3.7	4.0	4.0	3.9	4.0	4.0	3.9	4.5	3.7	3.7	3.3	3.2
%	24 %	37 %	26 %	32 %	29 %	20 %	33 %	16 %	23 %	25 %	44 %	26 %	29 %	27 %	24 %

PM₁₀ (2/4)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kunta	Kuopio	Kuopio	Lahti	Lappeenranta	Naantali	Oulu	Pieksämäki	Pietarsaari	Pori	Raahe	Raisio	Rauma	Seinäjoki	Tampere	Turku
Asema	Maaherran- katu	Tasavallan- katu	Saimaan- katu	Lappeenrannan keskusta 4	Naantalin keskusta	Oulun keskusta 2	Savontie	Bottenviks- vägen	Porin keskusta	Raahen keskusta 2	Raision keskusta	Hallikatu	Vapaudentie 6a	Pirkankatu	Turun kauppatori
Lähiympäristö	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne
Komponentti	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
yksikkö	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
\bar{X}_{2013}	12.0	17.1	9.6	18.1	11.3	14.3	10.8	14.7	9.2	9.4	13.5	13.0	13.2	15.6	15.0
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	6.8	8.4	6.7	11.2	6.4	7.1	6.6	6.6	5.0	5.0	8.5	8.5	7.3	7.9	7.8
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.2	8.7	2.9	6.9	4.8	7.2	4.2	8.1	4.2	4.4	5.0	4.5	5.9	7.7	7.2
%	43 %	51 %	30 %	38 %	43 %	50 %	39 %	55 %	45 %	47 %	37 %	35 %	44 %	49 %	48 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	3.1	4.7	2.7	6.8	2.6	4.1	2.8	3.4	1.5	2.0	4.7	4.9	4.0	4.3	3.9
%	26 %	28 %	29 %	38 %	23 %	28 %	26 %	23 %	16 %	21 %	35 %	38 %	30 %	27 %	26 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	3.7	3.7	3.9	4.4	3.8	3.0	3.8	3.2	3.6	3.1	3.8	3.6	3.4	3.7	3.8
%	30 %	21 %	41 %	24 %	34 %	21 %	35 %	22 %	39 %	33 %	28 %	28 %	25 %	24 %	26 %
yhteensä	12.0	17.1	9.6	18.1	11.3	14.3	10.8	14.7	9.2	9.4	13.5	13.0	13.2	15.6	15.0
kotimaiset	8.3	13.4	5.6	13.7	7.5	11.3	7.0	11.5	5.7	6.4	9.7	9.4	9.8	11.9	11.2
%	70 %	79 %	59 %	76 %	66 %	79 %	65 %	78 %	61 %	67 %	72 %	72 %	75 %	76 %	74 %
kaukokulkeuma	3.7	3.7	3.9	4.4	3.8	3.0	3.8	3.2	3.6	3.1	3.8	3.6	3.4	3.7	3.8
%	30 %	21 %	41 %	24 %	34 %	21 %	35 %	22 %	39 %	33 %	28 %	28 %	25 %	24 %	26 %

PM₁₀ (3/4)

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Kunta	Vaasa	Vantaa	Helsinki	Jyväskylä	Oulu	Helsinki	Hämeenlinna	Kaarina	Kotka	Kouvola	Kuopio	Lohja	Vaasa	Harjavalta	Harjavalta
Asema	Vaasan keskusta	Kehä III Varisto	Vartiokylä Huivipolku	Palokka 2	Pyykösjärvi	Kallio 2	Niittykatu	Kaarina	Kirjastotalo	Käsityöläiskatu	Kasarmi-puisto	Nahkurintori 2	Vaasa vesitorni	Kaleva	Pirkkala
Lähiympäristö	kaupunki	tuntematon	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	esikaupunki	esikaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	teollisuus	teollisuus
Komponentti	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
yksikkö	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
\bar{X}_{2013}	17.5	22.9	10.8	10.2	9.6	13.1	14.0	9.7	11.5	13.1	10.3	11.1	8.1	10.3	10.3
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	10.0	11.4	7.7	7.0	6.6	9.1	8.1	6.0	7.4	8.3	6.8	7.1	5.3	6.5	7.0
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	7.5	11.5	3.1	3.2	3.0	4.0	5.9	3.7	4.1	4.7	3.5	3.9	2.8	3.8	3.3
%	43 %	50 %	29 %	32 %	32 %	30 %	42 %	38 %	36 %	36 %	34 %	35 %	35 %	37 %	32 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	6.8	7.4	3.7	3.3	3.6	5.1	4.3	2.1	3.2	4.2	3.2	3.2	2.1	2.9	3.4
%	39 %	32 %	34 %	32 %	37 %	39 %	31 %	22 %	28 %	32 %	31 %	29 %	25 %	28 %	32 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	3.3	4.0	4.0	3.7	3.0	4.0	3.8	3.8	4.2	4.1	3.7	3.9	3.3	3.6	3.6
%	19 %	17 %	37 %	36 %	32 %	31 %	27 %	40 %	36 %	31 %	35 %	36 %	40 %	35 %	35 %
yhteensä	17.5	22.9	10.8	10.2	9.6	13.1	14.0	9.7	11.5	13.1	10.3	11.1	8.1	10.3	10.3
kotimaiset	14.3	19.0	6.8	6.5	6.6	9.1	10.2	5.8	7.3	9.0	6.7	7.1	4.9	6.6	6.7
%	81 %	83 %	63 %	64 %	68 %	69 %	73 %	60 %	64 %	69 %	65 %	64 %	60 %	65 %	65 %
kaukokulkeuma	3.3	4.0	4.0	3.7	3.0	4.0	3.8	3.8	4.2	4.1	3.7	3.9	3.3	3.6	3.6
%	19 %	17 %	37 %	36 %	32 %	31 %	27 %	40 %	36 %	31 %	35 %	36 %	40 %	35 %	35 %

PM₁₀ (4/4)

	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
Kunta	Imatra	Imatra	Kokkola	Kotka	Kouvola	Kuopio	Lappeenranta	Lappeenranta	Länsi-Turunmaa	Turku	Äänekoski	Varkaus	Kotka
Asema	Rautionkylä	Teppanala	Ykspihlaja	Rauhala	Kuusankoski Mäkikylä	Sorsasalo	Ihalainen	Lauritsala	Parainen III	Oriketo	Äänekoski Hiski	Psaari 2	Satama Oy/siirrettäv
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	tuntematon
Lähiympäristön päästö	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus
Komponentti	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	10.8	10.3	10.5	13.9	12.9	23.0	15.5	12.4	12.3	11.4	13.0	12.7	14.9
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.5	5.2	5.7	7.7	10.3	8.8	9.3	9.0	8.3	8.6	8.9	8.1	8.6
Paikallinen													
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.3	5.0	4.8	6.2	2.6	14.2	6.3	3.4	4.0	2.8	4.0	4.6	6.4
%	49 %	49 %	46 %	45 %	20 %	62 %	40 %	28 %	33 %	24 %	31 %	36 %	43 %
Alueellinen													
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	1.0	0.7	2.5	3.5	6.3	5.1	4.9	4.6	4.4	4.8	5.4	4.2	4.4
%	9 %	7 %	24 %	25 %	49 %	22 %	31 %	37 %	36 %	42 %	42 %	33 %	29 %
Kaukokulkeuma													
maaseututausta (regressio)	4.5	4.5	3.2	4.2	4.1	3.7	4.4	4.4	3.9	3.8	3.6	3.9	4.2
%	42 %	44 %	30 %	30 %	32 %	16 %	28 %	35 %	31 %	34 %	27 %	31 %	28 %
yhteensä	10.8	10.3	10.5	13.9	12.9	23.0	15.5	12.4	12.3	11.4	13.0	12.7	14.9
kotimaiset	6.3	5.7	7.3	9.7	8.8	19.4	11.1	8.0	8.5	7.6	9.4	8.8	10.7
%	58 %	56 %	70 %	70 %	68 %	84 %	72 %	65 %	69 %	66 %	73 %	69 %	72 %
kaukokulkeuma	4.5	4.5	3.2	4.2	4.1	3.7	4.4	4.4	3.9	3.8	3.6	3.9	4.2
%	42 %	44 %	30 %	30 %	32 %	16 %	28 %	35 %	31 %	34 %	27 %	31 %	28 %

NO₂ (1/4)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kunta	Lahti	Vantaa	Espoo	Heinola	Helsinki	Helsinki	Hyvinkää	Imatra	Jyväskylä	Jämsä	Kajaani	Kokkola	Kuopio	Kuopio	Lahti
Asema	Laune	Tikkurila 3	Leppävaara 4	Heinolan keskusta	Mannerheimintie	Vallila 1	Hyvinkää	Mansikkala	Lyseo 2	Seppolantie	Kajaanin keskusta 3	Keskusta Pitkänsillankatu	Maaherrankatu	Tasavallankatu	Vesku 11
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne
Komponentti	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	16.7	26.6	27.0	15.1	37.4	23.9	16.5	9.3	13.7	9.8	18.7	12.8	16.6	17.1	28.2
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.5	11.3	12.2	9.1	18.1	12.7	4.7	4.0	5.6	4.0	3.9	4.5	6.7	5.5	7.4
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	11.2	15.4	14.7	5.9	19.3	11.2	11.8	5.2	8.2	5.8	14.8	8.3	10.0	11.5	20.8
%	67 %	58 %	55 %	39 %	52 %	47 %	71 %	56 %	59 %	59 %	79 %	65 %	60 %	68 %	74 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	3.5	9.1	10.0	7.2	15.8	10.5	2.6	1.9	4.0	2.3	2.8	3.4	5.2	4.1	5.4
%	21 %	34 %	37 %	48 %	42 %	44 %	16 %	20 %	29 %	23 %	15 %	26 %	31 %	24 %	19 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	2.0	2.2	2.2	1.9	2.3	2.3	2.1	2.2	1.6	1.7	1.0	1.1	1.4	1.4	2.0
%	12 %	8 %	8 %	13 %	6 %	9 %	13 %	23 %	12 %	17 %	6 %	9 %	9 %	8 %	7 %
yhteensä	16.7	26.6	27.0	15.1	37.4	23.9	16.5	9.3	13.7	9.8	18.7	12.8	16.6	17.1	28.2
kotimaiset	14.7	24.4	24.7	13.1	35.2	21.6	14.4	7.1	12.1	8.1	17.7	11.6	15.2	15.6	26.2
%	88 %	92 %	92 %	87 %	94 %	91 %	87 %	77 %	88 %	83 %	94 %	91 %	91 %	92 %	93 %
kaukokulkeuma	2.0	2.2	2.2	1.9	2.3	2.3	2.1	2.2	1.6	1.7	1.0	1.1	1.4	1.4	2.0
%	12 %	8 %	8 %	13 %	6 %	9 %	13 %	23 %	12 %	17 %	6 %	9 %	9 %	8 %	7 %

NO₂ (2/4)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Kunta	Lappeenranta	Naantali	Oulu	Pietarsaari	Pori	Raahe	Raisio	Rauma	Seinäjoki	Tampere	Turku	Vaasa	Vantaa	Helsinki	Helsinki
Asema	Lappeenrannan keskusta 4	Naantalin keskusta	Oulun keskusta 2	Bottenviksvägen	Porin keskusta	Raahen keskusta 2	Raision keskusta	Hallikatu	Vapaudentie 6a	Pirkankatu	Turun kauppatori	Vaasan keskusta	Kehä III Varisto	Tapanila	Vartiokylä Huivipolku
Lähiympäristö	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	tuntematon	esikaupunki	esikaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	tausta	tausta
Komponentti	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	11.6	14.3	25.3	11.3	18.6	16.9	19.9	10.7	14.6	19.4	28.1	27.1	32.8	16.3	14.6
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	4.5	5.4	7.1	3.6	6.1	8.5	9.7	5.5	5.3	6.7	12.8	6.8	13.2	7.1	6.8
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	7.1	8.9	18.2	7.7	12.5	8.4	10.2	5.2	9.3	12.7	15.3	20.3	19.6	9.2	7.8
%	61 %	62 %	72 %	68 %	67 %	50 %	51 %	49 %	64 %	66 %	54 %	75 %	60 %	57 %	54 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	2.4	3.2	6.2	2.4	4.3	7.6	7.5	3.5	3.9	4.9	10.6	5.5	11.0	4.8	4.5
%	20 %	22 %	25 %	21 %	23 %	45 %	38 %	33 %	26 %	25 %	38 %	20 %	34 %	30 %	31 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	2.1	2.2	0.9	1.2	1.8	0.9	2.2	1.9	1.4	1.8	2.2	1.3	2.2	2.3	2.3
%	18 %	15 %	3 %	10 %	10 %	6 %	11 %	18 %	10 %	9 %	8 %	5 %	7 %	14 %	15 %
yhteensä	11.6	14.3	25.3	11.3	18.6	16.9	19.9	10.7	14.6	19.4	28.1	27.1	32.8	16.3	14.6
kotimaiset	9.4	12.1	24.4	10.1	16.8	15.9	17.7	8.7	13.2	17.6	25.9	25.8	30.6	14.0	12.3
%	82 %	85 %	97 %	90 %	90 %	94 %	89 %	82 %	90 %	91 %	92 %	95 %	93 %	86 %	85 %
kaukokulkeuma	2.1	2.2	0.9	1.2	1.8	0.9	2.2	1.9	1.4	1.8	2.2	1.3	2.2	2.3	2.3
%	18 %	15 %	3 %	10 %	10 %	6 %	11 %	18 %	10 %	9 %	8 %	5 %	7 %	14 %	15 %

NO₂ (3/4)

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Kunta	Jyväskylä	Kauniainen	Oulu	Helsinki	Hämeenlinna	Kaarina	Kotka	Kouvola	Kuopio	Lahti	Lohja	Tampere	Tampere	Varkaus	Imatra
Asema	Palokka 2	Kauniainen 4	Pyykösjärvi	Kallio 2	Niittykatu	Kaarina	Kirjastotalo	Käsityöläiskatu	Kasarmipuisto	Kisapuisto	Nahkurintori 2	Kaleva	Linja- autoasema	Taulumäki (toripaviljonki)	Rautionkylä
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	esikaupunki
Lähiympäristön päästö	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta	tausta
Komponentti	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	9.1	10.6	11.2	20.2	17.2	12.6	11.5	11.3	11.1	10.0	9.7	11.7	25.2	8.9	10.4
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	5.5	4.5	3.9	9.4	6.6	5.5	5.5	4.0	3.6	4.7	4.8	5.7	14.6	3.1	6.3
Paikallinen															
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	3.6	6.0	7.3	10.8	10.6	7.2	6.0	7.2	7.5	5.3	4.9	6.1	10.6	5.7	4.1
%	40 %	57 %	65 %	54 %	62 %	57 %	52 %	64 %	68 %	53 %	51 %	52 %	42 %	65 %	40 %
Alueellinen															
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	3.9	2.3	3.1	7.1	4.6	3.2	3.3	2.0	2.2	2.7	2.6	3.9	12.8	1.5	4.1
%	43 %	22 %	27 %	35 %	27 %	26 %	29 %	18 %	19 %	27 %	26 %	33 %	51 %	17 %	39 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	1.6	2.2	0.9	2.3	2.0	2.2	2.2	2.1	1.4	2.0	2.2	1.8	1.8	1.6	2.2
%	18 %	21 %	8 %	11 %	11 %	18 %	19 %	18 %	13 %	20 %	23 %	15 %	7 %	19 %	21 %
yhteensä	9.1	10.6	11.2	20.2	17.2	12.6	11.5	11.3	11.1	10.0	9.7	11.7	25.2	8.9	10.4
kotimaiset	7.5	8.3	10.4	18.0	15.2	10.4	9.3	9.2	9.7	8.0	7.5	9.9	23.4	7.2	8.2
%	82 %	79 %	92 %	89 %	89 %	82 %	81 %	82 %	87 %	80 %	77 %	85 %	93 %	81 %	79 %
kaukokulkeuma	1.6	2.2	0.9	2.3	2.0	2.2	2.2	2.1	1.4	2.0	2.2	1.8	1.8	1.6	2.2
%	18 %	21 %	8 %	11 %	11 %	18 %	19 %	18 %	13 %	20 %	23 %	15 %	7 %	19 %	21 %

NO₂ (4/4)

	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
Kunta	Kokkola	Kotka	Lappeenranta	Lappeenranta	Lappeenranta	Turku	Varkaus	Äänekoski	Valkeakoski	Varkaus	Imatra	Inkoo	Porvoo	Turku	Kotka	Helsinki
Asema	Ykspihlaja	Rauhala	Ihalainen	Lauritsala	Tirilä Pekkasenkatu	Oriketo	Pääterveys- asema	Äänekoski Hiski	Valkeakosken terveyskeskus	Psaari 2	Pelkolan tulliasema Raja	Heimgård	Mustijoki	Ruissalo	HaminaKotka	Katajanokka 2
Lähiympäristön päästö	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	esikaupunki teollisuus	kaupunki teollisuus	kaupunki teollisuus	maaseutu teollisuus	maaseutu teollisuus	maaseutu teollisuus	tuntematon teollisuus	kaupunki tuntematon
Komponentti	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	7.8	11.5	14.9	10.3	8.9	16.6	6.0	8.8	7.6	11.9	11.7	5.0	11.5	7.9	13.7	17.8
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	3.8	4.6	4.7	3.8	3.6	9.0	2.6	4.4	3.4	4.2	5.7	2.5	6.8	4.8	6.3	8.3
Paikallinen																
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	4.0	6.8	10.2	6.5	5.3	7.5	3.5	4.4	4.2	7.8	6.0	2.5	4.7	3.2	7.4	9.6
%	52 %	60 %	69 %	63 %	59 %	45 %	57 %	50 %	56 %	65 %	51 %	51 %	41 %	40 %	54 %	54 %
Alueellinen																
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	2.6	2.5	2.6	1.7	1.5	6.8	0.9	2.9	1.5	2.5	3.5	0.1	4.6	2.5	4.2	6.0
%	34 %	21 %	17 %	16 %	17 %	41 %	15 %	33 %	19 %	21 %	30 %	3 %	40 %	32 %	30 %	34 %
Kaukokulkeuma																
maaseututausta (regressio)	1.1	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	1.6	1.5	1.9	1.6	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3
%	14 %	19 %	14 %	21 %	24 %	13 %	27 %	17 %	25 %	14 %	19 %	46 %	19 %	28 %	16 %	13 %
yhteensä	7.8	11.5	14.9	10.3	8.9	16.6	6.0	8.8	7.6	11.9	11.7	5.0	11.5	7.9	13.7	17.8
kotimaiset	6.7	9.3	12.7	8.2	6.8	14.3	4.4	7.3	5.7	10.3	9.5	2.7	9.3	5.7	11.6	15.6
%	86 %	81 %	86 %	79 %	76 %	87 %	73 %	83 %	75 %	86 %	81 %	54 %	81 %	72 %	84 %	87 %
kaukokulkeuma	1.1	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	1.6	1.5	1.9	1.6	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3
%	14 %	19 %	14 %	21 %	24 %	13 %	27 %	17 %	25 %	14 %	19 %	46 %	19 %	28 %	16 %	13 %

SO₂ (1/2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kunta	Lappeenranta	Helsinki	Imatra	Jyväskylä	Naantali	Pietarsaari	Pori	Jyväskylä	Harjavalta	Harjavalta	Imatra	Kokkola	Kuopio	Lappeenranta	Lappeenranta
Asema	Joutsenon keskusta	Vallila 1	Mansikkala	Lyseo 2	Naantalin keskusta	Bottenviksvägen	Porin keskusta	Palokka 2	Kaleva	Pirkkala	Rautionkylä	Ykspihlaja	Sorsasalo	Pulp	Tirilä
Lähiympäristö	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	kaupunki	esikaupunki	esikaupun	esikaupur	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki
Lähiympäristön päästö	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	liikenne	tausta	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus
Komponentti	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{x}_{2013}	1.5	1.6	1.1	0.5	1.3	1.5	0.9	0.7	6.3	5.5	2.0	5.9	2.4	1.1	1.3
$\bar{x}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	1.2	0.9	0.5	0.2	0.5	0.9	0.4	0.4	2.1	3.5	1.4	4.7	0.6	0.6	0.8
Paikallinen															
$\bar{x}_{2013} - \bar{x}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	0.3	0.8	0.6	0.4	0.9	0.7	0.5	0.3	4.2	2.0	0.6	1.2	1.7	0.5	0.5
%	21 %	47 %	52 %	68 %	64 %	43 %	54 %	43 %	67 %	37 %	28 %	21 %	73 %	42 %	36 %
Alueellinen															
$\bar{x}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	0.6	0.4	0.0	-0.2	0.1	0.6	0.1	0.0	1.7	3.1	0.9	4.4	0.2	0.1	0.3
%	43 %	26 %	-1 %	-42 %	5 %	37 %	7 %	-1 %	27 %	56 %	44 %	74 %	10 %	11 %	24 %
Kaukokulkeuma															
maaseututausta (regressio)	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5
%	35 %	27 %	49 %	74 %	31 %	20 %	39 %	58 %	6 %	7 %	28 %	5 %	17 %	47 %	40 %
yhteensä	1.5	1.6	1.1	0.5	1.3	1.5	0.9	0.7	6.3	5.5	2.0	5.9	2.4	1.1	1.3
kotimaiset	0.9	1.2	0.6	0.1	0.9	1.2	0.6	0.3	5.9	5.1	1.4	5.6	2.0	0.6	0.8
%	65 %	73 %	51 %	26 %	69 %	80 %	61 %	42 %	94 %	93 %	72 %	95 %	83 %	53 %	60 %
kaukokulkeuma	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5
%	35 %	27 %	49 %	74 %	31 %	20 %	39 %	58 %	6 %	7 %	28 %	5 %	17 %	47 %	40 %

SO₂ (2/2)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Kunta	Luoto	Oulu	Raahe	Raisio	Äänekoski	Raahe	Valkeakoski	Imatra	Inkoo	Porvoo	Porvoo	Porvoo	Turku	Helsinki
Asema	Vikarholmen	Nokela	Lapaluoto	Kaanaan koulu	Äänekoski Hiski	Merikatu	Valkeakosken terveyskeskus	Pelkolan tulliasema Raja	Heimgård	Mustijoki	Nyby	Svartbäck	Ruissalo	Katajanokka 2
Lähiympäristö	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	esikaupunki	kaupunki	kaupunki	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	kaupunki
Lähiympäristön päästö	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	teollisuus	tuntematon
Komponentti	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2
yksikkö	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	0.6	0.9	2.3	1.2	0.6	1.9	1.6	1.0	1.2	1.2	1.3	0.1	1.8	3.2
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	0.4	0.3	1.5	0.6	0.3	1.5	0.9	0.6	0.5	0.4	0.2	0.0	1.0	1.2
Paikallinen														
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	0.2	0.6	0.9	0.6	0.3	0.4	0.6	0.5	0.7	0.8	1.1	0.1	0.8	1.9
%	35 %	67 %	37 %	52 %	49 %	21 %	40 %	46 %	55 %	67 %	84 %	100 %	45 %	61 %
Alueellinen														
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	0.1	0.0	1.2	0.1	-0.1	1.2	0.5	0.0	0.1	-0.1	-0.2	-0.5	0.6	0.8
%	18 %	0 %	50 %	13 %	-8 %	63 %	35 %	1 %	9 %	-6 %	-18 %	-425 %	32 %	25 %
Kaukokulkeuma														
maaseututausta (regressio)	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
%	48 %	33 %	13 %	35 %	59 %	16 %	26 %	53 %	37 %	39 %	35 %	425 %	23 %	14 %
yhteensä	0.6	0.9	2.3	1.2	0.6	1.9	1.6	1.0	1.2	1.2	1.3	0.1	1.8	3.2
kotimaiset	0.3	0.6	2.0	0.8	0.3	1.6	1.2	0.5	0.8	0.7	0.9	-0.3	1.4	2.7
%	52 %	67 %	87 %	65 %	41 %	84 %	74 %	47 %	63 %	61 %	65 %	-325 %	77 %	86 %
kaukokulkeuma	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
%	48 %	33 %	13 %	35 %	59 %	16 %	26 %	53 %	37 %	39 %	35 %	425 %	23 %	14 %

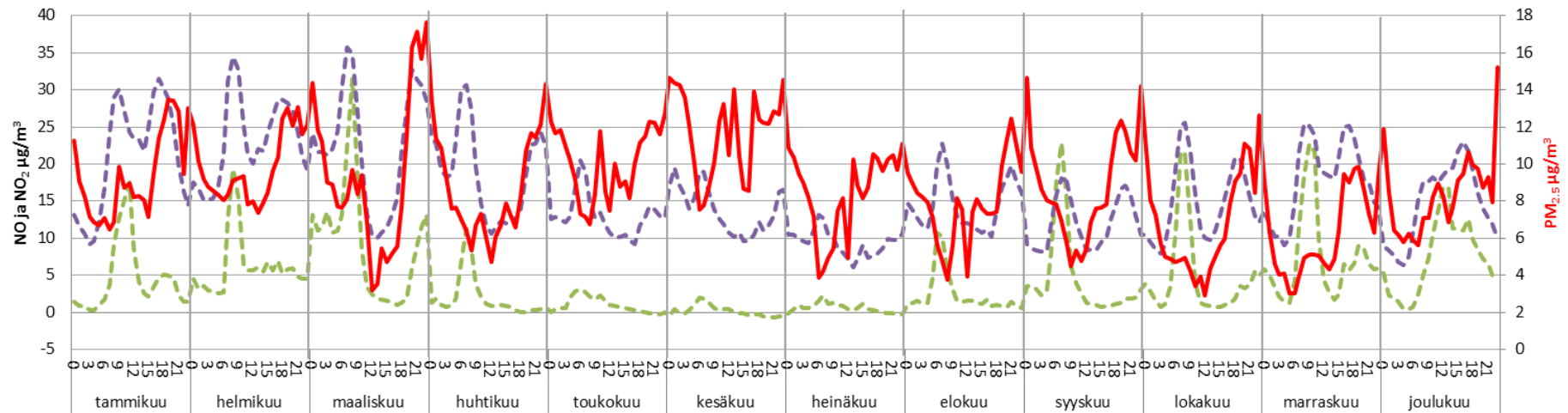
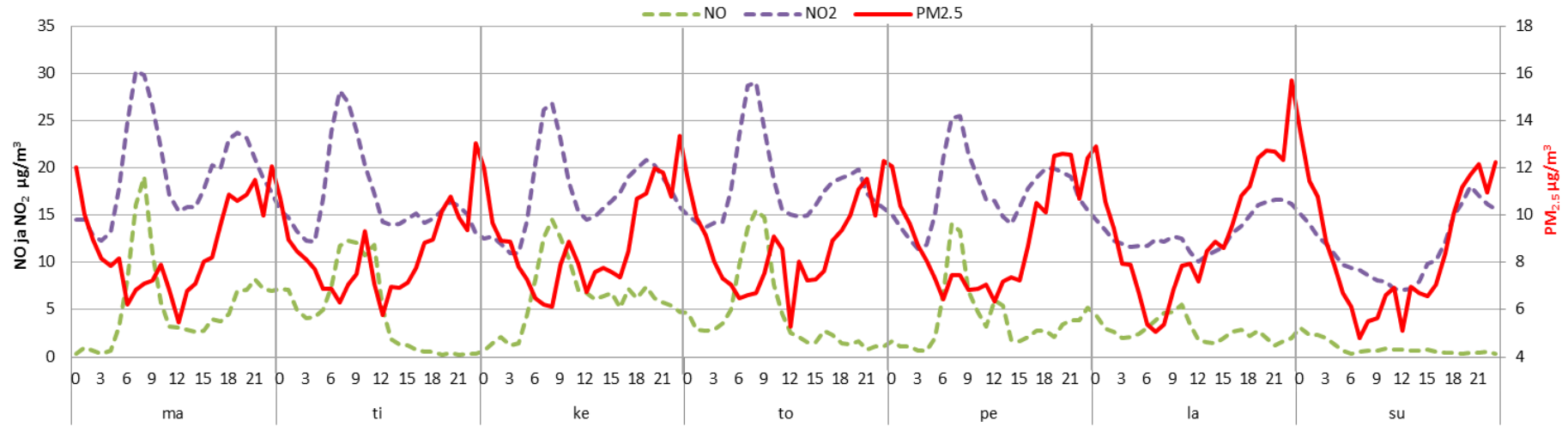
MAASEUTUTAUSTA-ASEMAT

	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Espoo	Parainen	Virolahti	Inari	Muonio	Virolahti	Espoo	Kuusamo	Parainen	Muonio	Virolahti	Ähtäri	Espoo	Ilomantsi	Inari	Kuusamo	Parainen	Muonio	Pori	Utsjoki	Virolahti
	Luukki	Utö	Virolahti	Raja-Jooseppi	Sammal-tunturi	Virolahti	Luukki	Oulanka	Utö	Sammal-tunturi	Virolahti	Ähtäri 2	Luukki	Ilomantsi	Raja-Jooseppi	Oulanka	Utö	Sammal-tunturi	Pastuskeri	Kevo	Virolahti
	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu	maaseutu
	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM10	PM10	PM10	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	NO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2	SO2
	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
\bar{X}_{2013}	5.8	3.8	6.3	3.9	3.2	10.6	5.3	0.8	3.2	1.0	4.0	2.2	0.9	0.7	0.9	0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.8
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	3.5	2.5	4.6	3.0	2.3	7.6	2.4	0.6	2.3	0.9	2.0	1.7	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.5	0.2	0.5
Paikallinen																					
$\bar{X}_{2013} - \bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$	2.3	1.3	1.8	0.9	1.0	3.0	3.0	0.2	1.0	0.1	2.0	0.5	0.5	0.2	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3
%	39 %	34 %	28 %	24 %	30 %	28 %	56 %	28 %	30 %	11 %	50 %	21 %	56 %	22 %	69 %	41 %	34 %	36 %	30 %	66 %	42 %
Alueellinen																					
$\bar{X}_{\min}(h_{1-24} * 52_{\text{ma-su}})$ -maaseututausta	-0.6	-1.2	4.1	0.4	-0.3	3.3	0.1	-0.1	0.0	0.5	-0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
%	-10 %	-32 %	64 %	11 %	-11 %	31 %	2 %	-13 %	-1 %	49 %	-4 %	12 %	-4 %	5 %	8 %	17 %	-5 %	12 %	14 %	3 %	-4 %
Kaukokulkeuma																					
maaseututausta (regressio)	4.1	3.7	0.5	2.5	2.6	4.3	2.2	0.7	2.3	0.4	2.2	1.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5
%	70 %	97 %	8 %	65 %	80 %	41 %	42 %	85 %	71 %	41 %	55 %	67 %	47 %	72 %	23 %	41 %	72 %	52 %	56 %	32 %	62 %
yhteensä	5.8	3.8	6.3	3.9	3.2	10.6	5.3	0.8	3.2	1.0	4.0	2.2	0.9	0.7	0.9	0.6	0.6	0.4	0.7	0.6	0.8
kotimaiset	1.7	0.1	5.8	1.4	0.6	6.3	3.1	0.1	0.9	0.6	1.8	0.7	0.5	0.2	0.7	0.4	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3
%	30 %	3 %	92 %	35 %	20 %	59 %	58 %	15 %	29 %	59 %	45 %	33 %	53 %	28 %	77 %	59 %	28 %	48 %	44 %	68 %	38 %
kaukokulkeuma	4.1	3.7	0.5	2.5	2.6	4.3	2.2	0.7	2.3	0.4	2.2	1.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.2	0.4	0.2	0.5
%	70 %	97 %	8 %	65 %	80 %	41 %	42 %	85 %	71 %	41 %	55 %	67 %	47 %	72 %	23 %	41 %	72 %	52 %	56 %	32 %	62 %

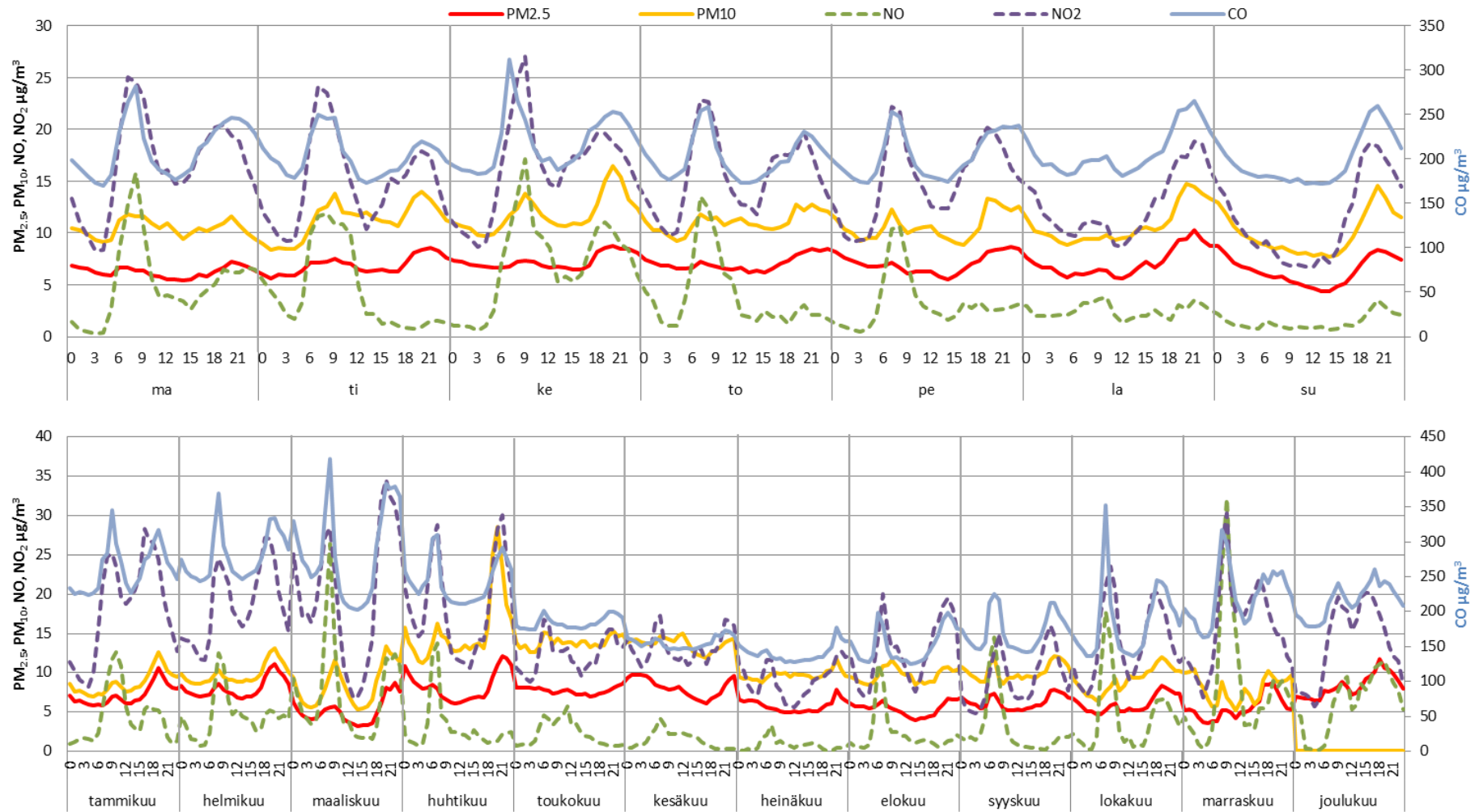
LIITE 3. ILMANLAADUN MITTAUSASEMIEN VIIKKO- JA VUOSIPROFIILIENTUNTIKESKIARVOT

Asemakohtaisten pienhiukkasten lähdeosuuksien määrittämiseen käytettyjen asemien viikko- ja vuosiprofiilien tuntikeskiarvot vuoden 2013 mitausaineistosta koostettuna.

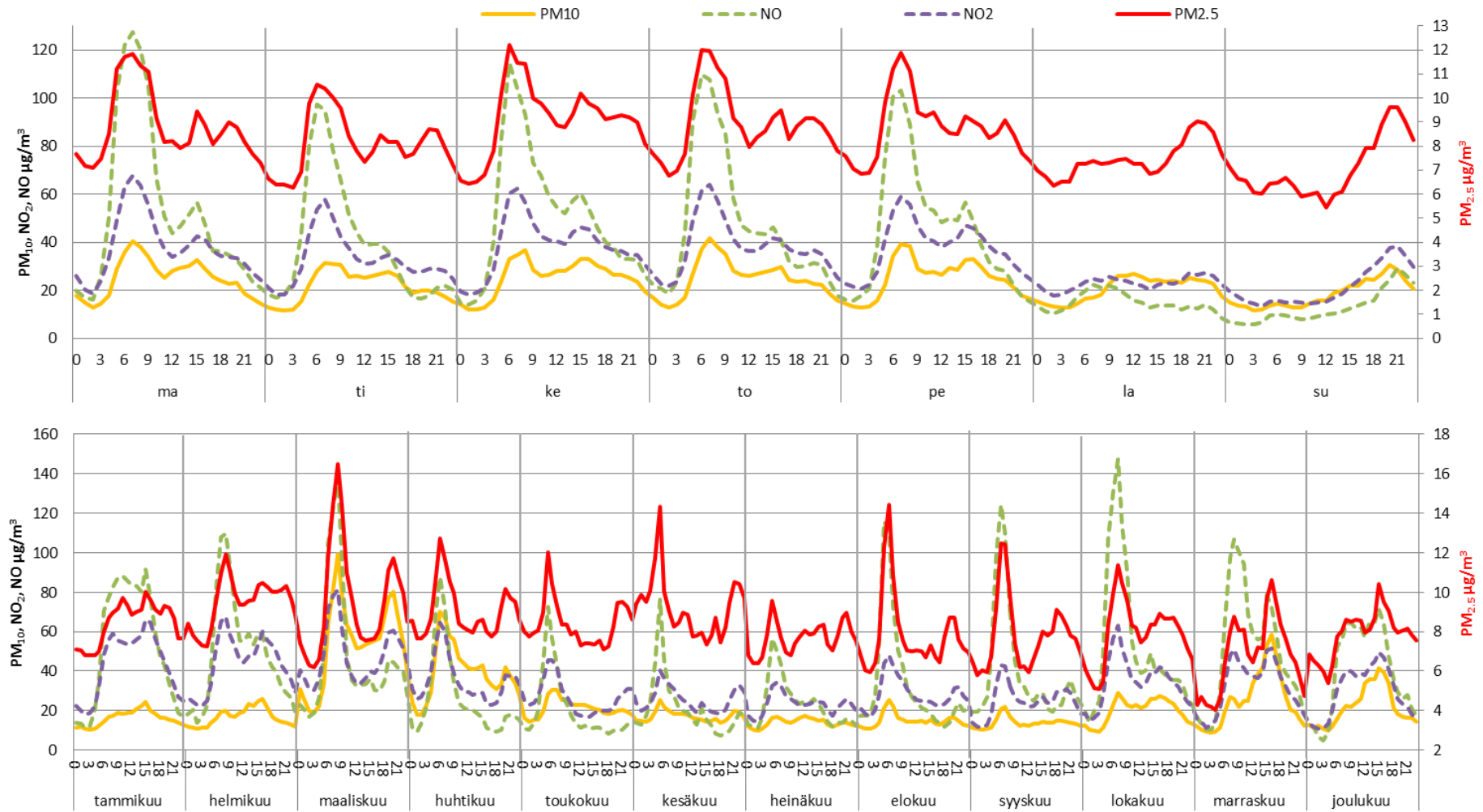
Helsinki, Tapanila, esikaupunkitausta



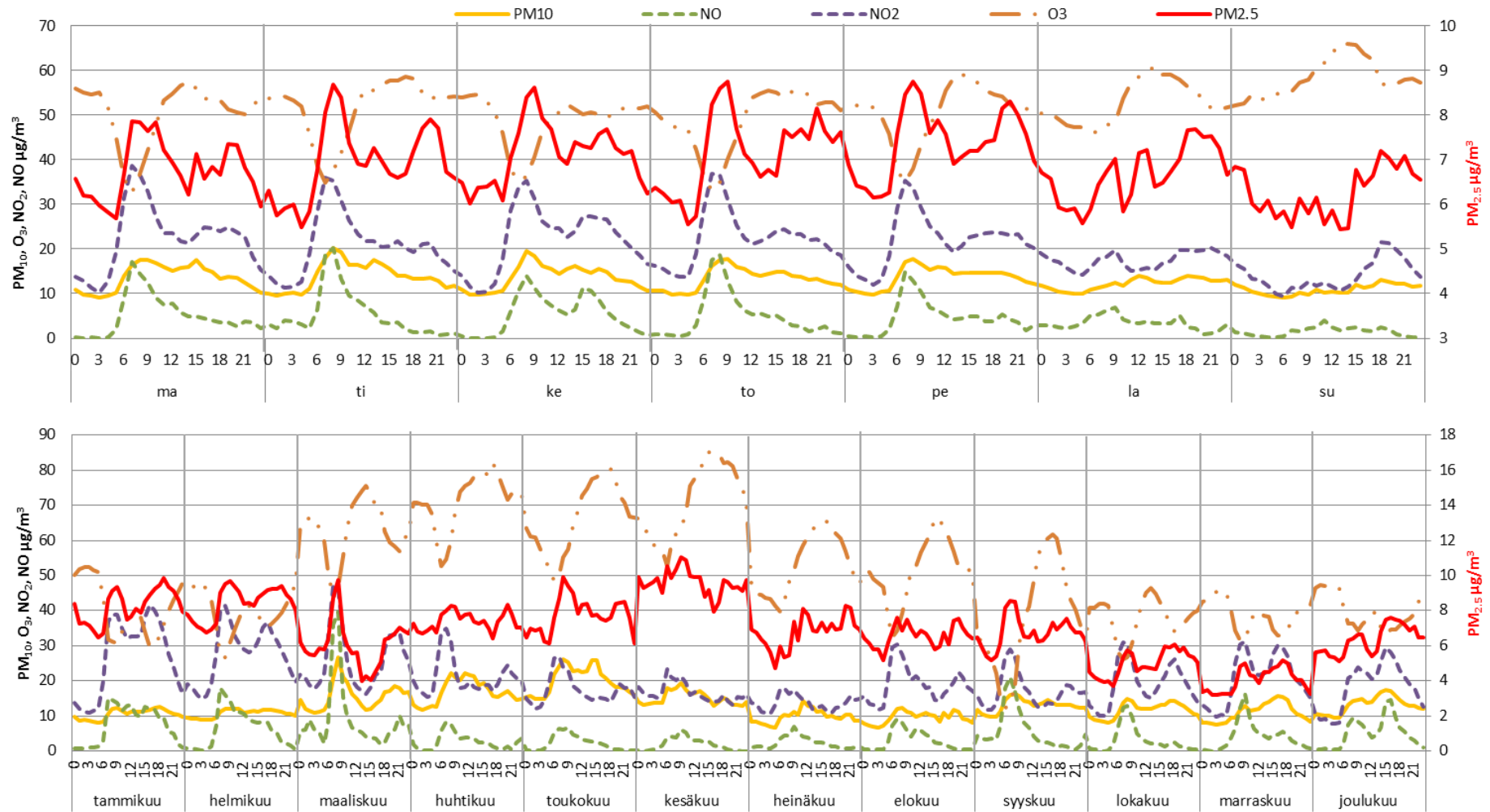
Helsinki, Vartiokylä Huivipolku, esikaupunkitausta



Vantaa, Kehä III Varisto, tuntematon liikenne



Helsinki, Kallio 2, kaupunkitausta



Espoo, Luukki, maaseututausta

